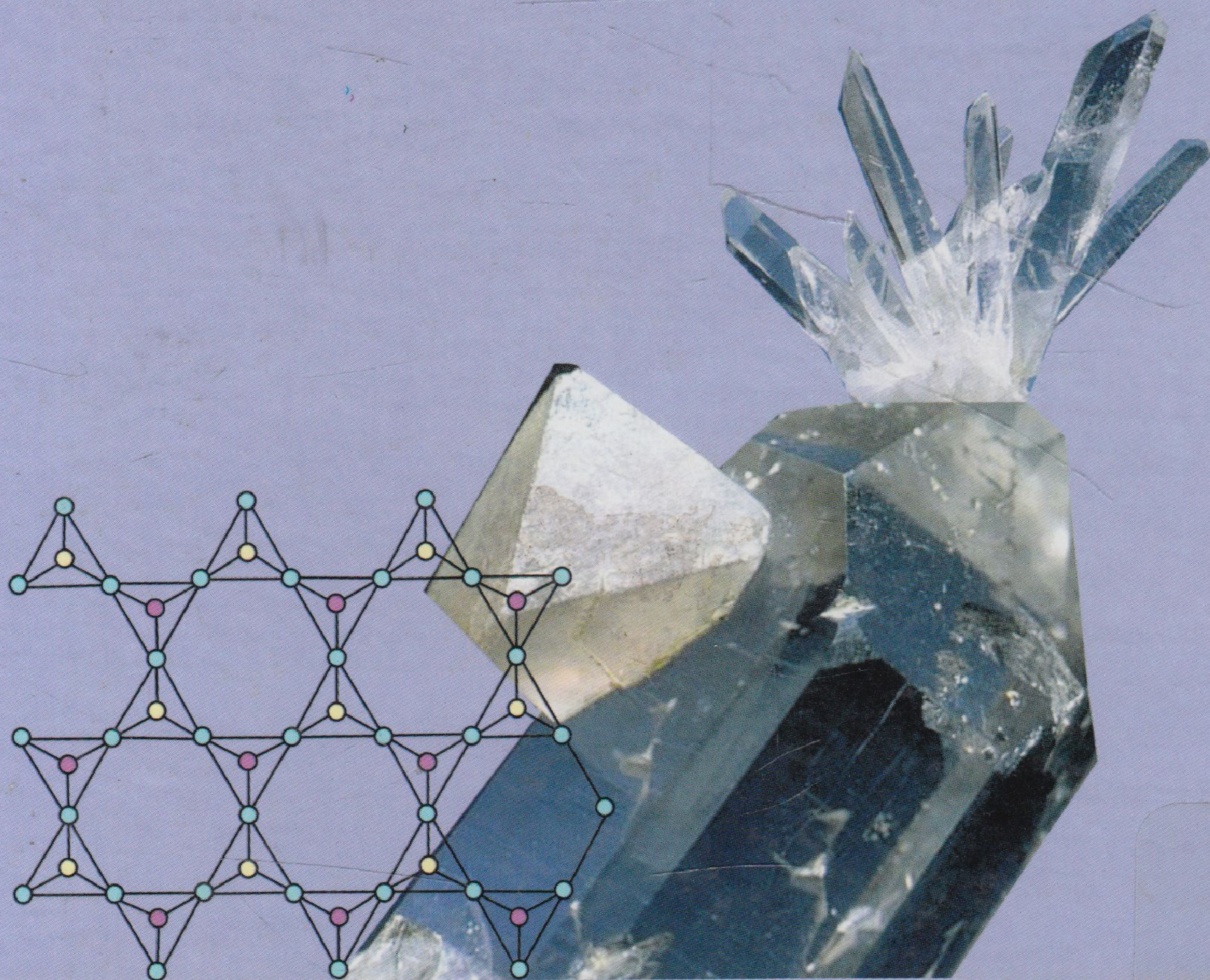
علم المعادن

المجلد الثاني

المعادن السيليكاتية



د/ حمدي حامد عبد النبي


كلية علوم الأرض - جامعة الملك عبد العزيز

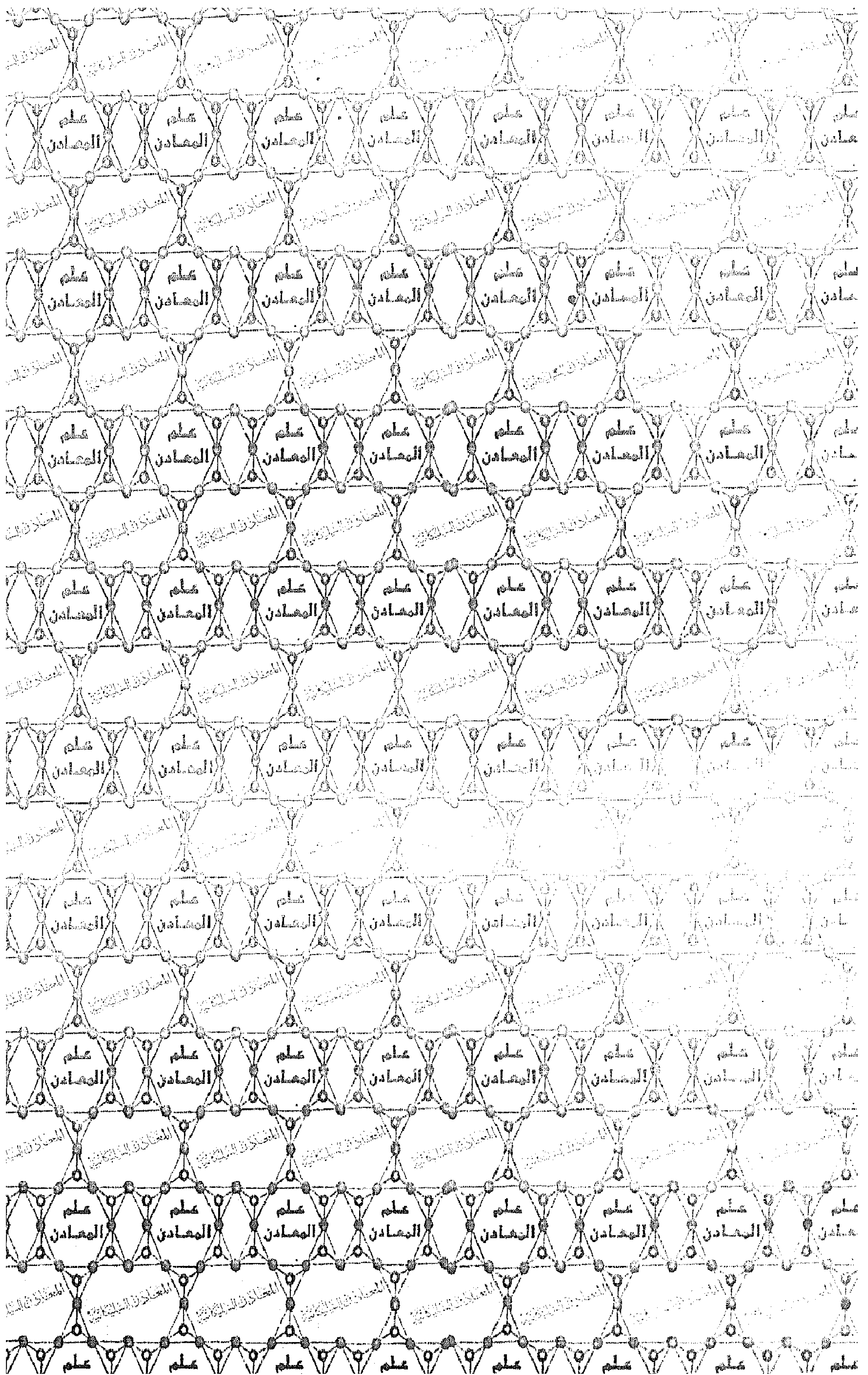
أ.د/ عصام بن يحيى الفيلالي

كلية علوم الأرض - جامعة الملك عبد العزيز

د/ يحيى حسن داود

كلية علوم الأرض - جامعة الملك عبد العزيز


علم
المعادن


علم
المعادن

علم المعادن

المجلد الثاني

المعادن السيليكاتية

د/ حمدي حامد عبد النبي

كلية علوم الأرض - جامعة الملك عبد العزيز

أ.د/ عصام بن يحيى الفيلالي

كلية علوم الأرض - جامعة الملك عبد العزيز

د/ يحيى حسن داود

كلية علوم الأرض - جامعة الملك عبد العزيز

بطاقة فهرسة

فهرسة أثناء النشر إعداد الهيئة المصرية العامة لدار الكتب والوثائق القومية ، إدارة الشئون الفنية .

عبد النبى ، حمدى حامد .

علم المعادن : المجلد ثانى المعادن السيليكاتية

تأليف :حمدى حامد عبد النبى . – ط1. –

القاهرة : مكتبة الانجلو المصرية ، 2008.

423 ص ، 17× 24 سم .

1- المعادن

أ - الفيلالى ، عصام (مؤلف مشترك)

ب- داود ، يحيى حسن (مؤلف مشترك) ج - العنوان

رقم الإيداع : 14434

ردمك :977-05-2565-0 تصنيف ديوى : 549

المطبعة : المطبعة التجارية الحديثة

الناشر : مكتبة الانجلو المصرية

165 شارع محمد فريد

القاهرة – جمهورية مصر العربية

ت : 23914337 (202) ؛ ف : 23957643 (202)

E-mail : angloebs@anglo-egyptian.com
Website : www.anglo-egyptian.com

شكر وتقدير

يتوجه فريق العمل بخالص الشكر والتقدير لجامعة الملك عبد العزيز ممثلة في معهد البحوث والإستشارات لدعمه المادي في تأليف هذا الكتاب من خلال البحث رقم (٢٠٤ / ٤٢٦) وممثلة أيضاً في كلية علوم الأرض لتوفيرها الإمكانات المعملية اللازمة.

بسم الله الرحمن الرحيم

إن الحمد لله نحمده ونستعينه ونستهديه ونستغفره ونصلي ونسلم على سيدنا ونبينا محمد وعلى آله وصحبه أجمعين.

" سبحانك لا علم لنا إلا ما علمتنا إنك أنت العليم الحكيم "، وبعد

لقد نشأت فكرة هذا الكتاب منذ عدة سنوات، وكان الدافع لذلك خلو المكتبة العربية من مثل هذا النوع من الكتب، حيث تهتم الغالبية العظمى من الكتب في هذا المجال بتقديم أساسيات علم المعادن دون الخوض في تفصيلات مجموعات المعادن المختلفة مثل مجموعة المعادن السيليكاتية. ولدراسة مجموعة المعادن السيليكاتية أهمية خاصة حيث تشكل حوالي ٩٠ % من المعادن المكونة للقشرة الأرضية. كما أن لهذه المعادن دور بارز في مجالات متعددة بالصناعة حيث تستخدم كمواد خام لكثير من الصناعات. كما أن الدراسات والأدبيات الحديثة وتكنولوجيا المعلومات تعتبر دوافع أخرى هامة ووسائل جيدة تثرى مالدينا من معلومات جديرة بأن تكون فى كتاب باللغة العربية يلبى الحاجة الشديدة لدارسي علوم الأرض والعاملين فى مجالات التنقيب عن الثروات المعدنية ومعالجة الخامات وتركيزها وإستخلاص ذو القيمة الإقتصادية منها.

وقد أخذ في الإعتبار أثناء تأليف هذا الكتاب سهولة الإسلوب وتسلسل الأفكار مع الإستعانة بكثير من الصور الملونة والأشكال التوضيحية ثلاثية الأبعاد حتى تساعد الطالب والباحث في علم المعادن السيليكاتية على الفهم وسرعة الإدراك مما يجعل هذا الكتاب من حيث مستواه مرجعاً مفيداً للمهتمين بهذا المجال في الدول العربية مع الإبقاء على المصطلحات الأجنبية بجانب المصطلحات العربية حتى يتيسر على الطالب الرجوع إلى الكتب الأجنبية وقت الحاجة. وندعو الله سبحانه وتعالى أن ينفع به أبناء المسلمين وأن يجعله مرجعاً يساهم في بداية إنطلاق البحث عن الثروات المعدنية بالعالم العربي والتي لا زالت في حاجة إلى الكثير للتعرف عليها.

يحتوي الباب الأول على تعريف عام بعلم المعادن والتصنيف الكيميائى للمعادن في صورة مبسطة يسهل بعدها متابعة الأبواب التالية. تتناول الأبواب الستة الباقية الأنواع المختلفة من مجاميع المعادن السيليكاتية وهي المعادن السيليكاتية المنفردة (النيزوسليكات)، المعادن السيليكاتية المزدوجة (السوروسليكات)، المعادن السيليكاتية الحلقية (السيكلوسليكات)، المعادن السيليكاتية السلسلية (الإينوسليكات)، المعادن السيليكاتية الصفائحية (الفيللوسليكات) والمعادن السيليكاتية الشبكية (التكتوسليكات). يتناول كل باب المعادن الممثلة لكل مجموعة متضمنة: اسم المعدن، الصيغة الكيميائية، البنية البلورية، كيميائية المعدن، صفاته الفيزيائية والبصرية، تواجد المعدن بالصخور والبيئات المختلفة والمعادن المصاحبة، بالإضافة إلى إستخداماته.

والله ولي التوفيق

المؤلفون **مارس ٢٠٠٨**

المحتويات

قائمة الأشكال

قائمة الجداول

تعريف عام

ما المقصود بكلمة "معدن"؟

المعادن هي المادة الأساسية التي تتكون منها الأرض وقد تمكن الإنسان من التعرف على المعادن منذ زمن بعيد. فقد كان هيجنس Huygens (١٦٧٨) أول من لفت النظر للترتيب الذري للمعادن وإنعكاسه على الصفات البلورية والطبيعية من خلال دراسته لظاهرة الإنكسار المزدوج. وفى عام (١٧٨١) إفترض هوي Haüy أن المعادن متكونة من بلورات وأن البلورات بدورها تتكون من مجموعات كبيرة من الحبيبات الصغيرة المتشابهه. وقد ساعد ظهور تقنية الأشعة السينية فى أواخر القرن التاسع عشر في التعرف على الترتيب الذرى الداخلى للمعادن. وفى عام (١٨٩٨) عرف كل من برش وبينفيلد Brush and Penfield المعدن علي أنه أي مادة ذات تركيب كيميائي معين توجد علي صورة غير عضوية ولها تركيب ذري ثابت أو نظام بلوري محدد ولها أيضاً صفات فيزيائية معروفة جيدًا. وأتفق علماء علم المعادن حديثًا علي أن تطلق كلمة معدن على أي مادة تتوافر فيها الشروط التالية:

١- تكونت بفعل عوامل طبيعية في صورة صلبة غير عضوية. فمثلاً يطلق على الألماس Diamond والمتكون طبيعياً نتيجة عمليات جيولوجية معينة اسم معدن، بينما لا يطلق هذا الاسم على النوعيات التى يتم تصنيعها. كذلك الحال بالنسبة إلي الفحم، حيث لا يمكن إطلاق اسم معدن عليه لأنه عبارة عن مادة عضوية. هناك أيضاً بعض العناصر والتي لا يمكن إطلاق اسم معدن عليها، مثل الزئبق ويرجع ذلك لوجوده فى حالة سائلة. ورغم ذلك فإن بعض المراجع العلمية تنص على أنه ليس بالضرورة إطلاق اسم معدن على المواد غير العضوية فقط حيث أن هناك أيضا بعض المواد التى تتكون بطريقة عضوية تتشابه لدرجة كبيرة مع المواد غير العضوية. فمثلاً تعتبر الكربونات التى تدخل في تكوين المحاريات من المعادن رغم أنها تُعتبر مواد عضوية متبلورة تتكون بفعل كائنات حية Organisms،

٢- أن تكون فى صورة متجانسة، حيث أن المعدن يجب أن يكون متجانساً فى صفاته الكيميائية والفيزيائية لكل وحدة من وحداته الذرية وبالتالي فإن للمعدن صفات فيزيائية مميزة (مثل الكثافة Density والإنضغاط Compressibility ومعامل الإنكسار Index of refraction والصلادة والإنفصام والشكل البلوري و...إلى أخره). وهذا يعني أن المادة التى تتكون من أكثر من مركب لا يطلق عليها اسم معدن.

٣- أن تكون ذات صيغة كيميائية محددة Definite chemical formula، مثل الكالسيت وصيغته الكيميائية هى $CaCO_3$ والهاليت وصيغته NaCl والهيماتيت وصيغته Fe_2O_3 والجرافيت وصيغته C ......الخ.

٤- أن تكون مستقرة على مدى محدد من درجات الحرارة والضغط.

٥- أن تكون لها القدرة على النمو والتغير بناءً على التغيرات الكيميائية، مثل عمليات إعادة التبلور لمعدن فى صورة معدن أخر.

٦- أن يكون لها بناء داخلي محدد، أى أنها تتكون من ذرات ذات ترتيب على صورة صلبة متبلورة. وأن تكون ذات تركيب كيميائي محدد Definite، وليس بالضرورة ثابت، ويعنى ذلك أن الذرات أو مجموعات الذرات يجب أن تتواجد بنسب معينة. يتم تحديد نسب الكاتيونات إلى الأنيونات فى معظم المعادن بناءً على إتزان الشحنة Charge balance، حيث أن الذرات التى لها نفس الشحنة ونصف القطر الأيونى ممكن أن تحل محل بعضها ومن هنا جاء التعريف "محدد" ولكن ليس بالضرورة ثابت.

ويمكن مما سبق أن نعرف المعدن على أنه مادة غير عضوية توجد طبيعياً على شكل صلب متجانس وذات تركيب كيميائى محدد، ولكن غير ثابت، ولها أيضاً ترتيب ذرى وشكل بلوري مميز.

ما المقصود بعلم المعادن Mineralogy ؟

يمكن تعريف علم المعادن بأنه أحد أفرُع علوم الأرض والذي يهتم بدراسة صفات المعادن من النواحى الكيميائية والبنية البلورية والصفات

الفيزيائية والبصرية. كما يهتم هذا العلم بدراسة نشأة المعادن وتصنيفها وعمليات تخليقها وتأكلها. وقد ساهم التقدم التكنولوجى فى الوسائل المعملية مثل الحيود النيترونى Neutron diffraction وأيضاً الوسائل المتقدمة لتطبيقات الحاسب الآلى في التعرف على البنية البلورية للمعادن من خلال قياسات دقيقة. ولعلم المعادن أهمية كبيرة فى مختلف أفرع علوم الأرض. فعلى سبيل المثال، يلزم الجيوفيزيائي والذي يقوم بدراسة سلوك الموجات السيزمية بالوشاح والقشرة الأرضية فهم دقيق لبعض الصفات البلورية للمعادن. كذلك الحال للجيوكيميائى الذى يقوم بدراسة ملوثات المياه الجوفية والذي يحتاج إلى معرفة سلوك المعادن وكيفية مشاركتها فى عمليات التلوث للمياه الجوفية. وأيضاً العاملين بمجال علم البراكين، يجب ان يكونوا على دراية كافية بتفسير نسيج النطاقية بالمعادن والتي ترتبط بعمليات المجمتة والطفوح البركانية. كما يخدم علم المعادن علوم أخرى متعددة كما هو واضح بشكل رقم (١-١).

كيف يتكون المعدن؟

يمكن أن يتكون المعدن بطرق متعددة، ومنها:

١- التبلور من صهير أو محاليل مائية حارة سواء كان ذلك في أعماق الأرض أو على سطحها. نتجت غالبية المعادن المكونة للقشرة الأرضية من جراء التفارق المصاحب لتبلور الصهير حيث تكّون هذه المعادن الصخور النارية.

٢- الترسيب من المياة الجوفية حيث تتغير كيميائية المياه الجوفية عند إنتقالها إلي مستويات عميقة في الخزان الجوفي مما يؤدي في كثير من الأحيان إلى ترسيب المعادن في أوساط مختزلة مثل ترسيب معادن اليورانيوم.

٣- الترسيب من مياة المحيطات والبحار والأنهار والبحيرات: مثل تكّون معادن الكربونات والمتبخرات ورواسب المرقد Placer deposits والرواسب المتبقية Residual deposits والرواسب العضوية مثل الفوسفات.



شكل ١-١: المجالات ذات العلاقة بعلم المعادن.

٤- عمليات التغاير والتحول، حيث تتكون معادن جديدة من جراء إعادة التبلور لمعادن سابقة نتيجة تغير ظروف الضغط والحرارة.

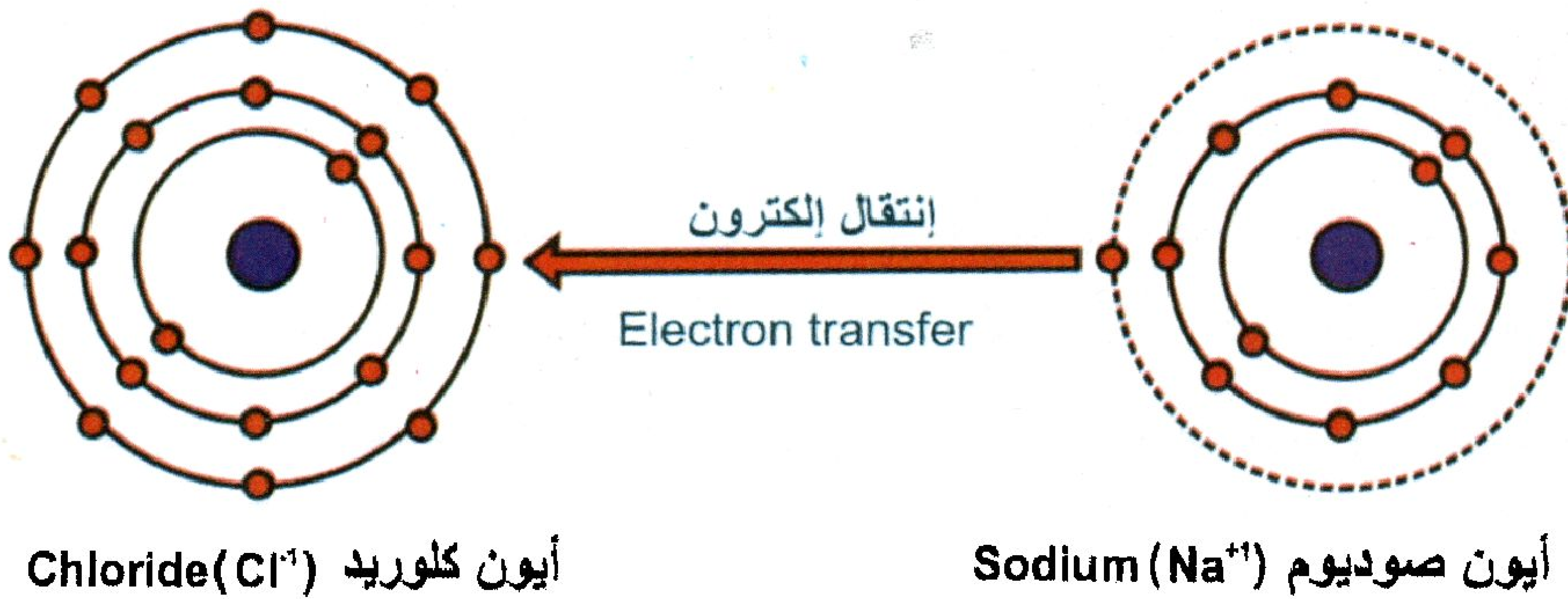
٥- عمليات الإحلال والتفاعلات الكيميائية: مثل عمليات الجرزنة Greisenization والألبتة Albitization والأكسدة Oxidation والتي تؤدي الى نشأة وتركيز بعض المعادن الإقتصادية الهامة مثل الكاسيتريت والفلوريت والكولومبيت وخامات الحديد.

٦- النشاط العضوي للكائنات الحية: مثل تكوين بعض معادن الحديد والكبريت العنصري بواسطة البكتريا والترسيبات التي تتم في بيئات البحيرات العذبة والمستنقعات والأماكن القريبة من النافورات البركانية Submarine exhalation.

ما هي العلاقة بين المعادن والكيمياء Minerals and chemistry ؟

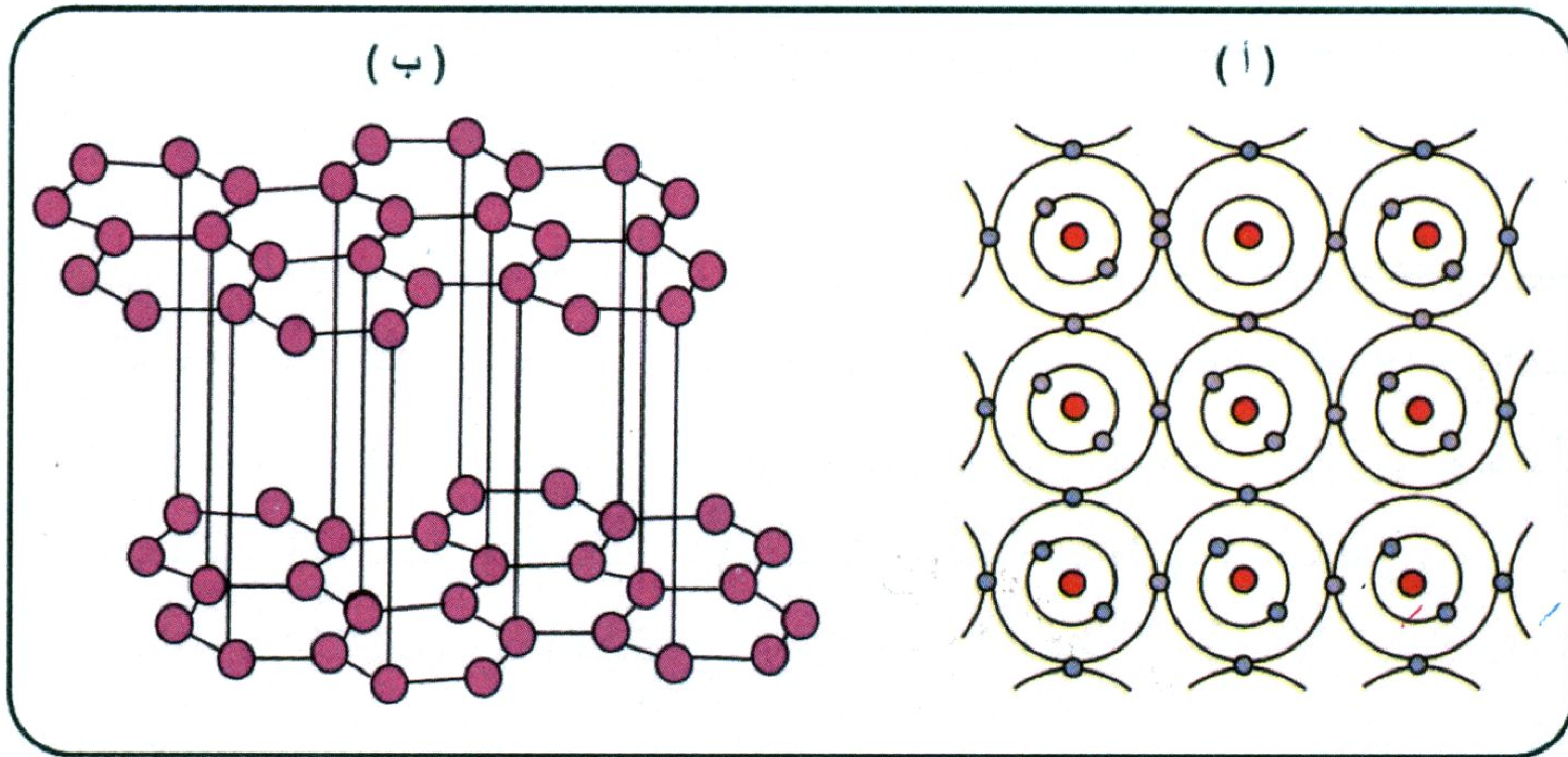
تُعرف العلاقة التي تربط التركيب الكيميائي للمعدن وبناءه الذري الداخلي باسم الكيمياء البلورية Crystal chemistry. ولكي نفهم تلك العلاقة يلزمنا خلفية ولو بسيطة عن بعض الأسس الكيميائية وأهمها الروابط الكيميائية Chemical bonds. تعرف الرابطة الكيميائية علي أنها إتحاد ذرات عنصرين أو أكثر لتكوين مركب. وهناك ٤ أنواع رئيسية من الروابط الكيميائية:

(أ) الرابطة الأيونية Ionic bond: هي ترابط بين ذرتين بأن تعطي إحداهن إلكترون أو أكثر للأخرى وتصبح الذرة المعطية موجبة الشحنة (كاتيون) بينما تصبح الذرة المستقبلة للألكترونات سالبة الشحنة (أنيون). وحيث أن الشحنات الموجبة والسالبة تتجذب فى إتجاه بعضهما البعض، فإنه ينشأ إرتباط بين الايونين (الكاتيون والأنيون) ويسمى هذا الإرتباط بالرابطة الأيونية. مثال ذلك الترابط الأيونى بين الصوديوم والكلورين ليكونا كلوريد الصوديوم (شكل ١-٢) وتسمى مثل هذه الذرات بالأيونات لعدم تساوى عدد الألكترونات وعدد البروتونات فيها (أى أنها غير متعادلة كهربياً).



شكل ١-٢: الرابطة الأيونية حيث ينتقل إلكترون من المدار الخارجي لذرة الصوديوم إلى المدار الخارجي لذرة الكلوريد. بمجرد أن تتم عملية الإنتقال للإلكترون، يصبح الصوديوم موجب الشحنة، بينما الكلوريد سالب الشحنة.

(ب) الرابطة التساهمية Covalent bond: وفيها تساهم إحدى الذرات بالكترون أو عدة إلكترونات مع ذرة أخرى أو أكثر. وتُعد الرابطة التساهمية أقوى من الرابطة الأيونية. مثال ذلك معدن الألماس وترتبط فيه ذرات الكربون بروابط تساهمية (شكل ١-٣).

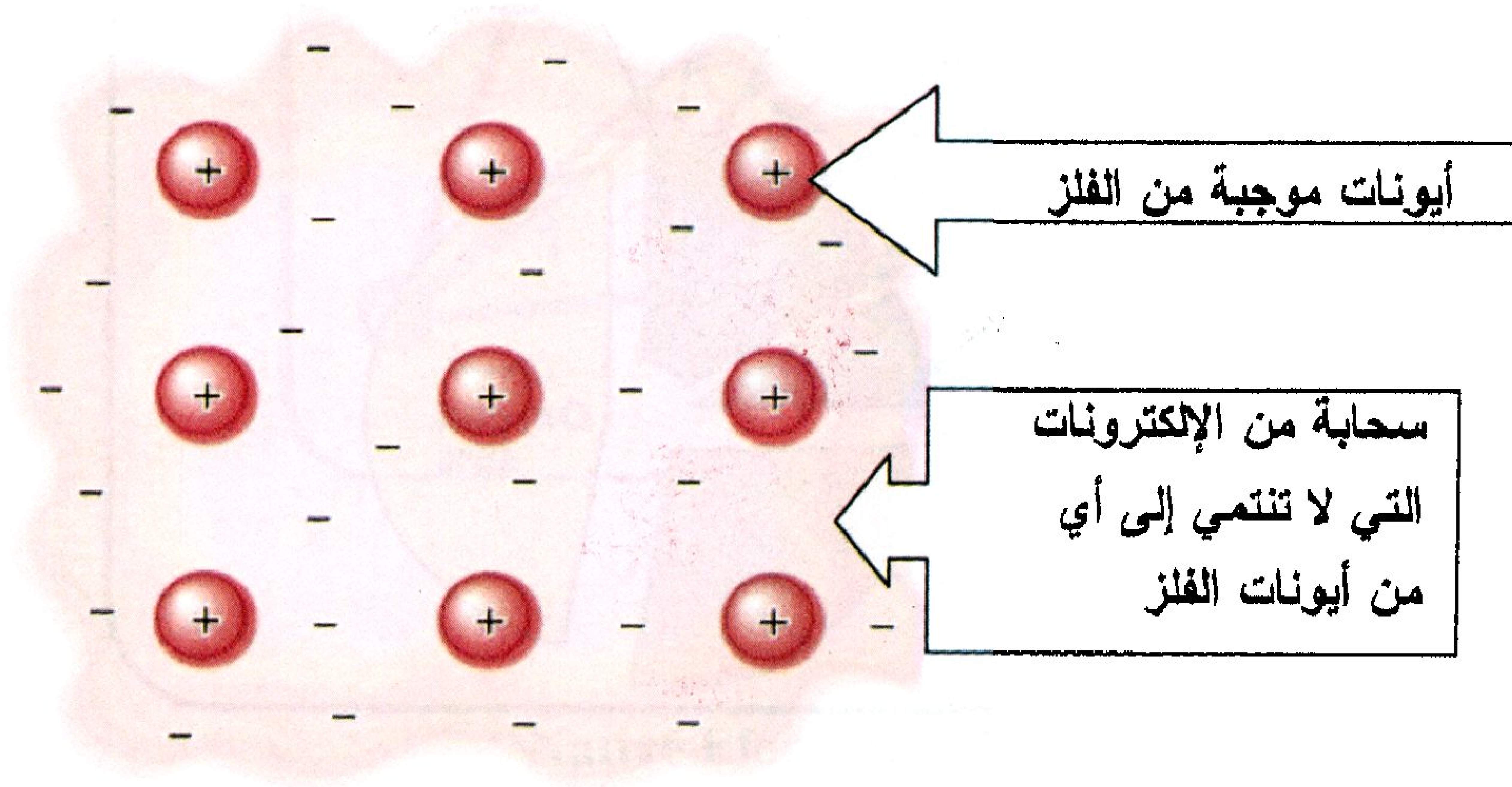


شكل ١-٣: (أ) الرابطة التساهمية لذرات الكربون المجاورة لبعضها لتكوين الألماس.(ب) الرابطة التساهمية بالجرافيت، ترتبط صفائح الكربون في الجرافيت مع بعضها البعض رأسياً برابطة فان درفال.

(ج) الرابطة الفلزية Metallic bond: هي الرابطة التي تربط ذرات الفلزات، وفيها تحاط نواه ذرة الفلز بسحابة من الإلكترونات ذات الإنتقال الحر في البناء الذرى للفلز (شكل ١-٤). ويمكن إعطاء مثال بسيط لتوضيح تلك العلاقة والتي تشبه أسرة ذاهبة لقضاء نزهه خلوية، حيث تمثل أنوية الذرات بالأباء الذين يقفون ويتحدثون لبعضهم ومستيقظين تماماً لما حولهم، أما الأبناء فأنهم يمثلون الإلكترونات والذين يتحركون بحرية حول الأباء ولكن مازالوا تحت سيطرة أباؤهم. وتعزى ظاهرة التوصيل الكهربى للمعادن إلى حرية حركة تلك الإلكترونات.

(د) رابطة فان درفال Van der Waal bond: وهى عبارة عن قوى الكتروستاتيكية ضعيفة تربط الجزيئات المتعادلة بعضها ببعض. مثال ذلك الجرافيت حيث ترتبط الذرات ببعضها فى صفائح بواسطة الرابطة

التساهمية القوية، بينما ترتبط الصفائح فيما بينها بواسطة رابطة فان درفال الضعيفة (شكل ١-٣ ب).

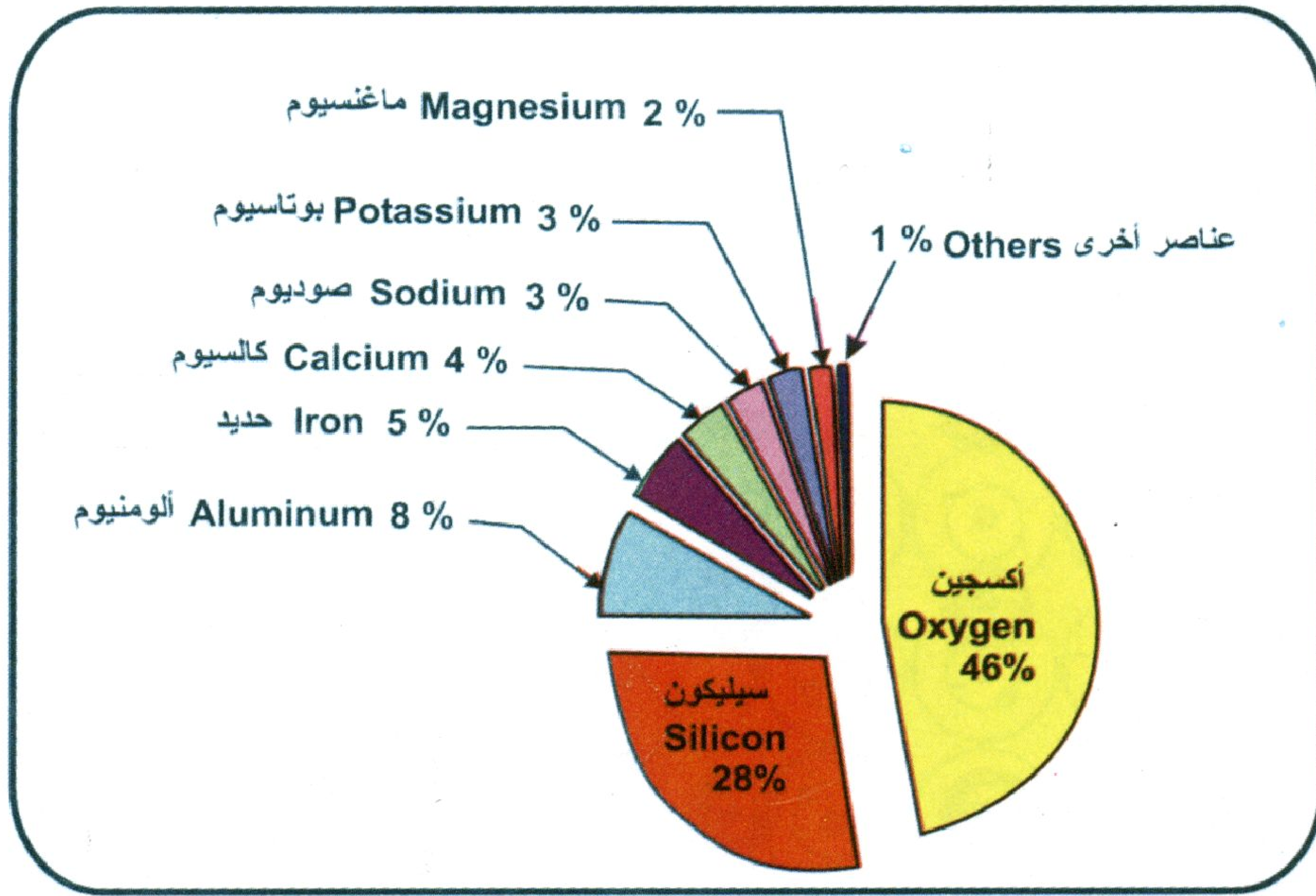


شكل ١-٤: الرابطة الفلزية حيث تحاط أيونات الفلز بسحابة من الإلكترونات. (مؤسسة جون ويلي وصن، ١٩٩٨ .John Willy and Sons Inc).

التصنيف العام للمعادن Minerals classification

تتكون القشرة الأرضية مما يزيد عن مائة عنصر، ورغم ذلك، فإن هناك ثمانى عناصر فقط تمثل حوالي ٩٩% من وزن القشرة الأرضية (شكل ١-٥). يوضح هذا الشكل أن الأكسجين هو أكثر العناصر شيوعاً كوزن وحجم ونسبة بالقشرة الأرضية ويليه عنصر السيليكون. بينما يمثل الألومنيوم والحديد والكالسيوم والصوديوم والبوتاسيوم والماغنسيوم الستة عناصر الباقية.

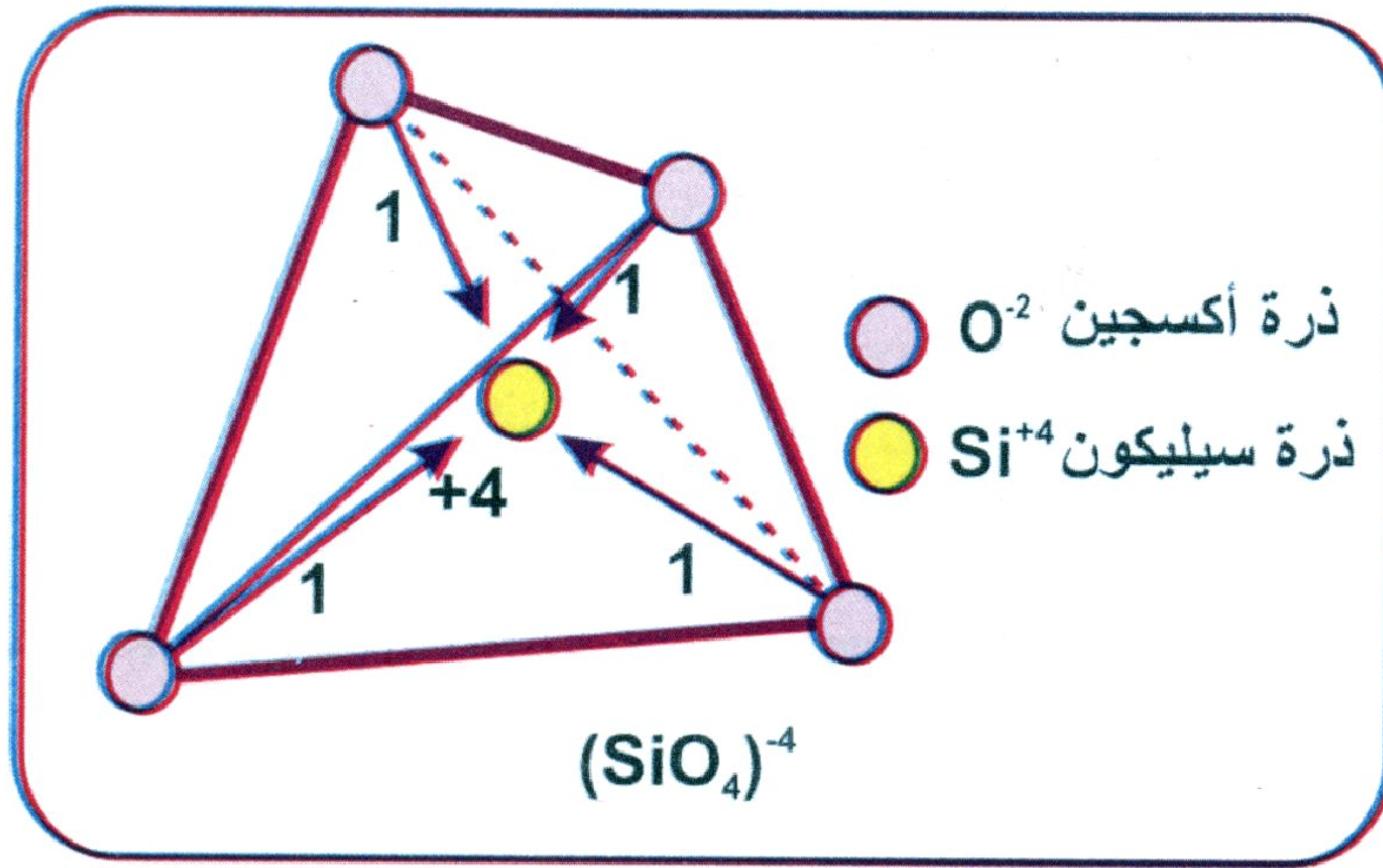
يتحد عنصرى الأكسجين والسيليكا ليكونا الدعامة الرئيسية لأحد أهم طوائف المعادن المكونة للقشرة الأرضية والتى تعرف باسم المعادن السيليكاتية. وتتكون هذه الدعامة من أربع ذرات أكسجين حول ذرة سيليكون واحدة في هيئة تسمى برباعى الأوجه السيليكاتى Silica tetrahedron (شكل



شكل ١-٥: توزيع نسب العناصر الأساسية بالقشرة الأرضية.

١-٦). ويتم تصنيف المعادن بناءً على الشق الأنيونى أو مجموعة متعددة الأنيونات Polyanionic group لعناصر متواجدة بالمعدن. ومتعدد الأنيونات هو مجموعة من الذرات ذات الإرتباط القوى والتى تتكون من الكاتيون مع عديد من الأنيونات (غالباً أكسجين) والتى تكون فى محصلتها سالبة الشحنة. على سبيل المثال الكربونات $(CO_3)^{2-}$ والسيليكات $(SiO_4)^{4-}$ حيث يمثلا متعدد الأنيونات الأكثر شيوعاً.

ويرجع نجاح هذا التصنيف إلى أن معظم المعادن تحتوى على أنيون أو متعدد الأنيون ونادراً ما تحتوى المعادن على أكثر من أنيون أو متعدد الأنيون، ولكن المعادن تحتوى دائماً على العديد من الكاتيونات. وبناءً على ذلك فقد تم تقسيم المعادن إلى عشرة طوائف Classes رئيسية كالأتى:



شكل ١-٦: وحدة رباعي الأوجه السيليكاتي.

١- طائفة المعادن العنصرية Native Elements Class :

تضم هذه الطائفة معادن ذات عناصر منفردة، حيث لا تحتوى على أنيون أو متعدد الأنيون. ومن أمثلة ذلك الذهب Au والفضة Ag والنحاس Cu والبلاتين Pt.

٢- طائفة معادن الكبريتيدات Sulfide Minerals Class:

تحتوى تلك الطائفة على معادن ذات محتوى أنيونى من الكبريت (S) ومن أمثلتها البيريت FeS_2 والسفاليريت ZnS والجالينا PbS. وينضم إلى هذه المجموعة أيضاً معادن ذات محتوى أنيونى ممثل فى التيليريوم Te والسيلينيوم Se والزرنيخ As وتسمى تلك المجاميع باسم تيليوريدات Tellurides وساليينيدات Salenides وزرنيخات Arsenides.

٣- طائفة معادن الهاليدات Halide Minerals Class :

تضم هذه الطائفة المعادن المحتوية على العناصر الهالوجينية (الفلور والكلور والبورون واليود) كأنيونات رئيسية. ترتبط ذرات هذه المعادن برابطة أيونية وتحتوى هذه المعادن على كاتيونات من عناصر أرضية قلوية

(مثل الصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم). ومن أشهر أمثلة هذه المجموعة الملح أو الهاليت (كلوريد الصوديوم NaCl) والفلوريت CaF_2.

٤- طائفة معادن الأكاسيد Oxide Minerals Class:

تتكون معادن الأكاسيد من العديد من الكاتيونات مع الأكسجين. مثال: الهيماتيت Fe_2O_3 والماجنيتيت Fe_3O_4.

٥- طائفة معادن الهيدروكسيدات Hydroxide Minerals Class :

تحتوى هذه الطائفة على متعدد الأنيون OH^- مثل البروسـيت $Mg(OH)_2$ والجيبسيت $Al(OH)_3$.

٦- طائفة معادن الكربونات Carbonate Minerals Class:

تحتوى هذه الطائفة على متعدد الأنيون للكربونات $(CO_3)^{2-}$ حيث تحاط كل ذرة كربون C^{4+} بثلاث ذرات أكسجين O^{2-}، مثال ذلك معدن الكالسيت $CaCO_3$. وتحتوى أيضاً على مجموعة معادن النيترات (مثل النيتراتيت Nitratite $NaNO_3$) حيث أن متعدد الأنيون للنيترات $(NO_3)^{3-}$ يشابه الكربونات $(CO_3)^{2-}$ فى الشكل الهندسى Geometry.

٧- طائفة معادن الكبريتات Sulfate Minerals Class :

تحتوى هذه الطائفة على متعدد الأنيون للكبريتات $(SO_4)^{2-}$ حيث تحاط ذرة كبريت S^{6+} بأربع ذرات أكسجين فى شكل رباعى الأوجه. وتختلف هذه المجموعة عن الكبريتيدات في أنها تحتوي على أكسيجين بينما الكبريتيدات لا تحتوي عليه.

٨- طائفة معادن الفوسفات Phosphate Minerals Class:

تحتوى طائفة معادن الفوسفات على رباعى الأوجه $(PO_4)^{3-}$ كمتعدد أنيونى سائد. ومن الأمثلة الشائعة لتلك المجموعة معدن الأباتيت $Ca_5(PO_4)_3OH$ والذي يمثل المكون الرئيسى للعظام والأسنان. ينضم لهذه المجموعة أيضاً مجموعة معادن الفانيدات Vanadate $(VO_4)^{3-}$ والزرنيخات

وذلك لتشابهما الكيميائي وإحتوائهما على متعدد أنيون Arsenate $(AsO_4)^{3-}$ رباعي الأوجه.

٩- طائفة معادن البورات Borate Minerals Class:

تحتوى تلك الطائفة على أنيون البورات الثلاثى $(BO_3)^{3-}$ أو الرباعى $(BO_4)^{4-}$. ومن أمثلة هذه المجموعة معدن البوراكس Borax.

١٠- طائفة معادن السيليكات Silicate Minerals Class:

تحتوى هذه الطائفة على رباعي الأوجه السيليكاتي كمتعدد أنيون سائد، حيث يحاط الكاتيون (السيليكون Si^{4+}) بأربع ذرات أكسجين (شكل ١-٦) وحيث أن السيليكون والأكسجين أكثر العناصر شيوعاً فى القشرة الأرضية، فإن هذه المجموعة تشكل أكبر مجاميع المعادن. وتنقسم السيليكات إلى ستة طويفات Subclasses حسب طريقة ترتيب رباعيات الأوجه السيليكاتية Silicate tetrahedral .

(أ) طويفة المعادن السيليكاتية المنفردة

Nesosilicates or Orthosilicates Subclass

تحتوى هذه المعادن على مجموعات منعزلة من المتعدد الأنيونى SiO_4^{4-} بحيث تحيط ذرات الأكسجين بذرة واحدة فقط من السيليكون Si (شكل ١-٧)، ولا تحدث عملية بلمرة فيما بينهم، ومن أمثلة هذه المعادن: الفورستريت (أوليفين غنى بالماغنسيوم Mg_2SiO_4) والبيروب (جارنت غنى بالماغنسيوم $Mg_3Al_2Si_3O_{12}$).

(ب) طويفة المعادن السيليكاتية المزدوجة Sorosilicates Subclass

تحتوى هذه المعادن على إثنين من رباعى الأوجه، حيث تشارك إحدى ذرات الأكسجين رباعى الأوجه المجاور (شكل ١-٨)، ولذلك فإن المتعدد الأيونى يكون رمزه $(Si_2O_7)^{6-}$. ومن أمثلة هذه الطويفة معدن الإبيدوت $(Ca_2Al_2FeO(OH)SiO_4Si_2O_7)$.

المعادن الشائعة	صيغة المتعدد الأيوني	وحدة رباعي الأوجه
أوليفين جارنت كيانيت سيليمانيت اندلوسيت شتوروليت	$(SiO_4)^{4-}$	أنيون الأكسجين Oxygen anion كاتيون السيليكون Silicon cation

شكل ١–٧: وحدة رباعي الأوجه السيليكاتي بطويفة المعادن السيليكاتية المنفردة.

المعادن الشائعة	صيغة المتعدد الأيوني	ترتيب وحدة رباعي الأوجه السيليكاتي
الإبيدوت	$(Si_2O_7)^{6-}$	

شكل ١–٨: ترتيب وحدات رباعي الأوجه السيليكاتي بطويفة المعادن السيليكاتية المزدوجة.

(ج) طويفة المعادن السيليكاتية الحلقية Cyclosilicates Subclass

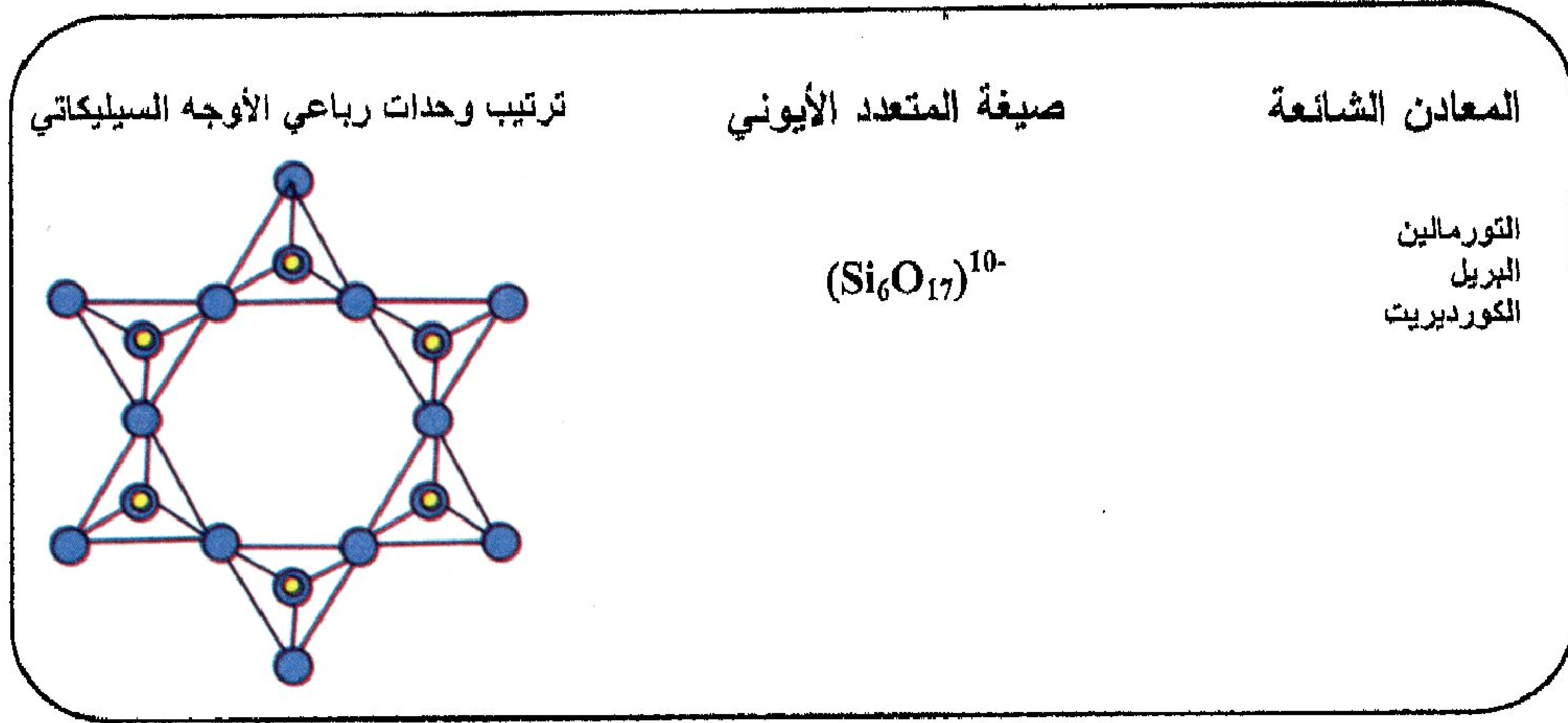
تحتوى هذه المعادن على ستة حلقات من رباعى الأوجه بحيث تصبح الصيغة الكيميائية للمتعدد الأيوني $(Si_6O_{17})^{10-}$. من أمثلة هذه المعادن: التورمالين والبيريل (شكل ١–٩).

(د) طويفة المعادن السيليكاتية السلسلية

Chain silicates or Inosilicates Subclass

تحتوى هذه المعادن على رباعي الأوجه السيليكاتى SiO_4 والذى يشكّل عملية بلمرة Polymerization فى إتجاه واحد مكوناً ما يعرف بالسلسلة.

من الممكن أن تتكون سلسلة واحدة بحيث يشارك أثنين من ذرات الأكسجين الأربعة المكافئة لذرة سيليكون مع رباعي الأوجه المجاور فتصبح سلسلة لانهائية ذات الصيغة $(Si_2O_6)^{4-}$ (شكل ١–١٠ أ). وتشتمل السلسلة المفردة على معادن البيروكسين والبيروكسينويد. ومن الممكن أيضاً أن تتكّون سلسلة مزدوجة ذات الصيغة الكيميائية $(Si_4O_{11})^{6-}$ (شكل ١–١٠ ب)، مثل معادن الأمفيبول.



شكل ١–٩: ترتيب وحدات رباعي الأوجه السيليكاتي بطويفة المعادن السيليكاتية الحلقية.

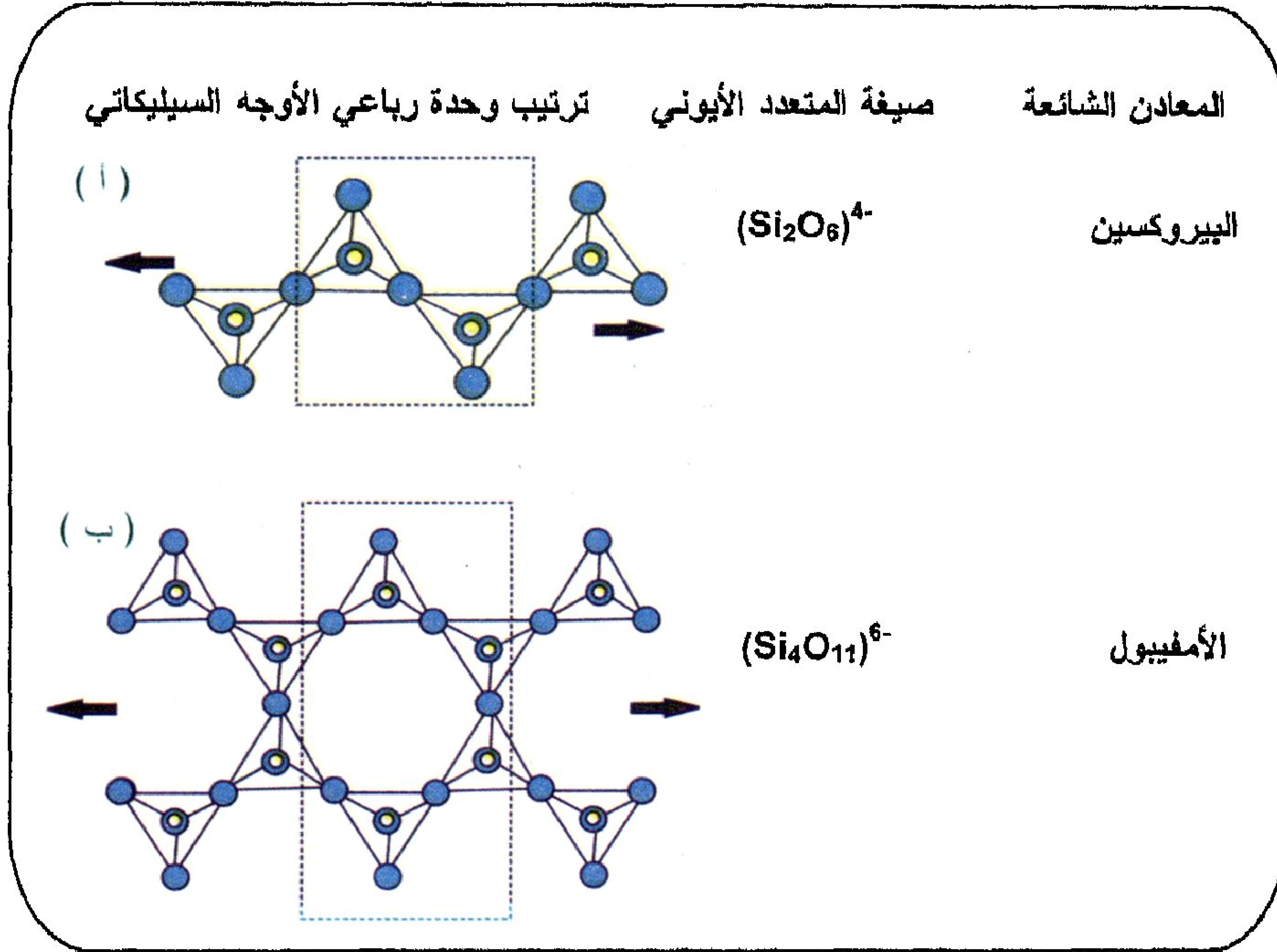
(هـ) طويفة المعادن السيليكاتية الصفائحية Sheet Silicates Subclass:

تحتوى هذه المعادن على وحدات متعددة من رباعي الأوجه السيليكاتي SiO_4 والتى تتبلمر فى إتجاهين لتكون صفائح بالصيغة $(Si_4O_{10})^{4-}$ (شكل ١–١١). من الأمثلة الشائعة لتلك المعادن مجموعة الميكا حيث تمثل مستويات إنفصامها البنية الصفائحية لتلك المعادن.

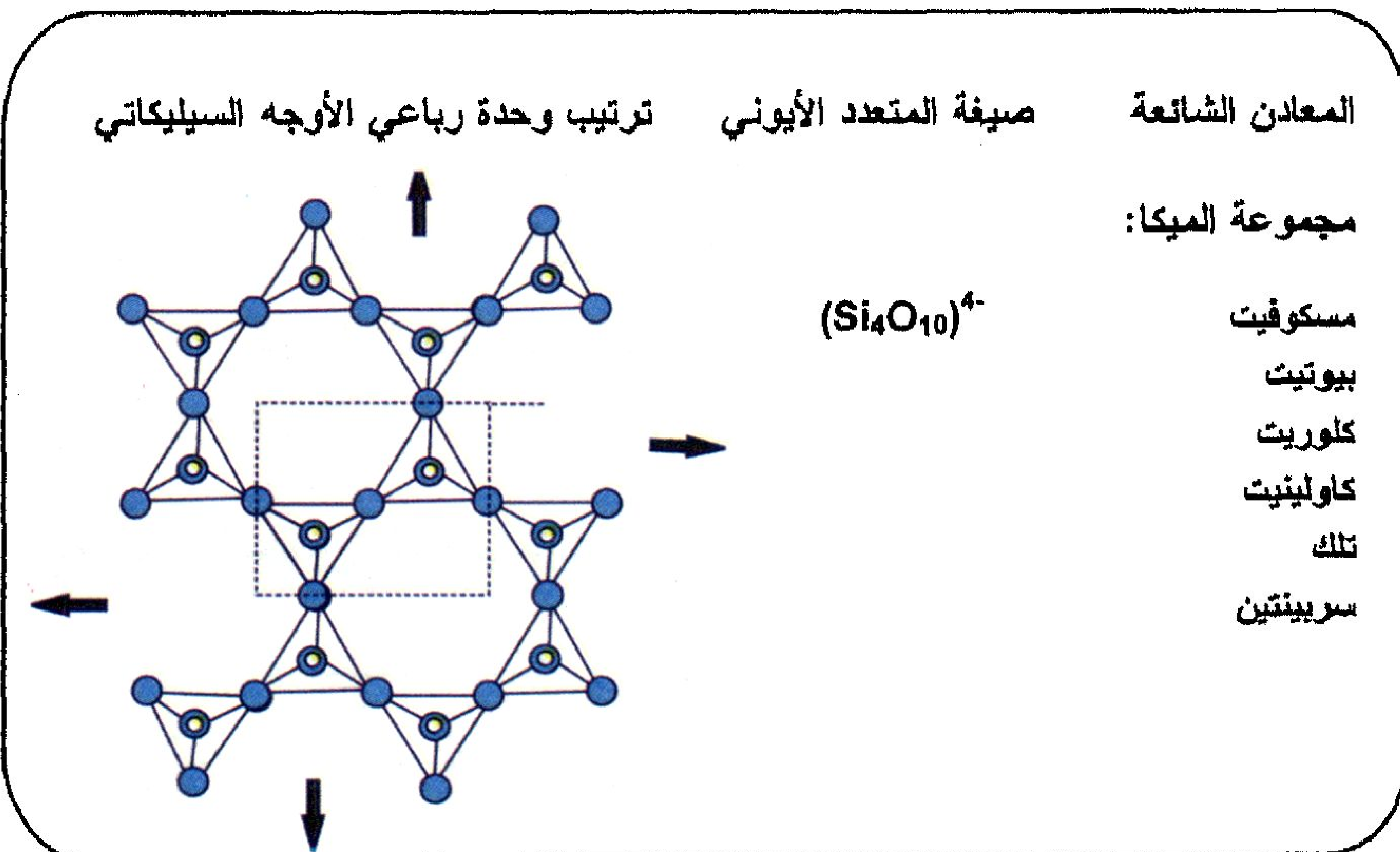
(و) طويفة المعادن السيليكاتية الشبكية Framework Silicates Subclass:

تحتوى هذه المعادن على رباعي الأوجه السيليكاتي SiO_4 والذى يتبلمر فى ثلاثة إتجاهات ليكّون شبكة بالصيغة الكيميائية (SiO_2). ومن الأمثلة الشائعة معدن الكوارتز (SiO_2) والألبيت $(NaAlSi_3O_8)$ والشائع تواجدهما

بالقشرة الأرضية. فى الفلسبارات، يحل الألومنيوم الثلاثى Al^{3+} محل السيليكون الرباعى Si^{4+} برباعى الأوجه، ويتم تعويض عدم الإتزان الناتج بدخول كاتيون قلوى (صوديوم أو بوتاسيوم) فى الفراغات البينية للشبكية.



شكل ١-١٠: ترتيب وحدات رباعي الأوجه السيليكاتي بطويفة المعادن السيليكاتية السلسلية المفردة (أ) والمزدوجة (ب).



شكل ١-١١: ترتيب وحدات رباعي الأوجه السيليكاتي بطويفة المعادن السيليكاتية الصفائحية.

الباب الثانى

المعادن السيليكاتية المنفردة

Nesosilicates

مجموعة الأوليفين Olivine group $(Mg,Fe)_2SiO_4$

تحتوى معادن مجموعة الأوليفين على وحدات منعزلة من المتعدد الأنيونى SiO_4^{4-} (أنظر شكل ١-٧). يرجع اسم هذه المجموعة إلى اللون الأخضر الذى تتميز به معادنها والتي تحمل الصيغة العامة X_2SiO_4، حيث أن X تشير إلى أيون كالسيوم أو ماغنيسوم أو حديد أو منجنيز أو نيكل. تضم هذه المجموعة ٨ معادن أساسية كما هو موضح فى الجدول رقم (٢-١)، كما يوضح هذا الجدول بعض الصفات البلورية والفيزيائية لتلك المعادن.

جدول ٢-١: بعض الصفات البلورية والفيزيائية لمعادن الأوليفين

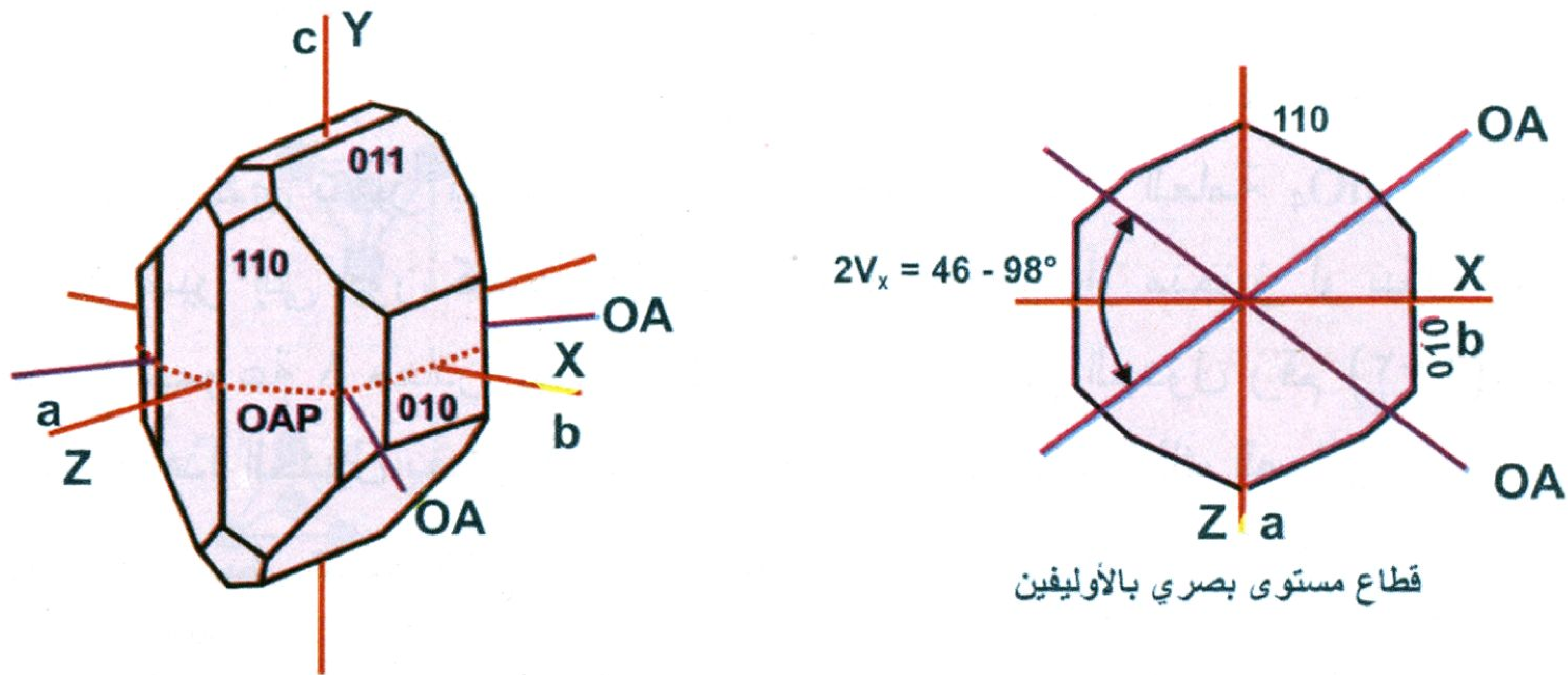
اسم المعدن	فصيلة التبلور	مجموعة النقطة	المجموعة الفراغية	Z	أبعاد خلية الوحدة (أنجستروم)			الوزن النوعي
					أ	ب	ج	
Forsterite فورستريت	[illegible]	2/m2/m2/m	*Pbnm*	٤	٤,٧٥٣	١٠,٤٨٠	٥,٩٧٨	٣,٢٢٧
Fayalite فياليت					٤,٨١٩	١٠,٤٧٨	٦,٠٨٧	٤,٤٠٢
Tephroite تيفرويت					٤,٩٠٢	١٠,٥٩٦	٦,٢٥٦	٤,١٢٧
Liebenbergite ليبينبرجيت					٤,٧٢٦	١٠,١١٨	٥,٩١٣	٤,٩٢١
Ca- Olivine أوليفين كالسي					٥,٠٧٨	١٠,٢٢٥	٦,٧٦٠	٢,٩٦٩
Co- Olivine أوليفين كوبالتي					٤,٧٨١	١٠,٢٩٩	٦,٠٠٠	٤,٧١٩
monticellite مونتيسيلليت					٤,٨٢٢	١١,١٠٨	٦,٣٨٢	٣,٠٤٠
Kirschsteinite كيرشتينيت					٤,٨٤٤	١٠,٥٧٧	٦,١٤٦	٣,٩٦٥

فورستريت Mg_2SiO_4 وفياليت Fe_2SiO_4

يأتى اسم فورستريت تكريماً لأحد العلماء والذي يدعى ج. فورستر J. Forster. بينما يعود اسم الفياليت إلى مكان تواجده بجزيرة فيالFayal Island بالأزورس Azores.

البنية البلورية Crystal structure

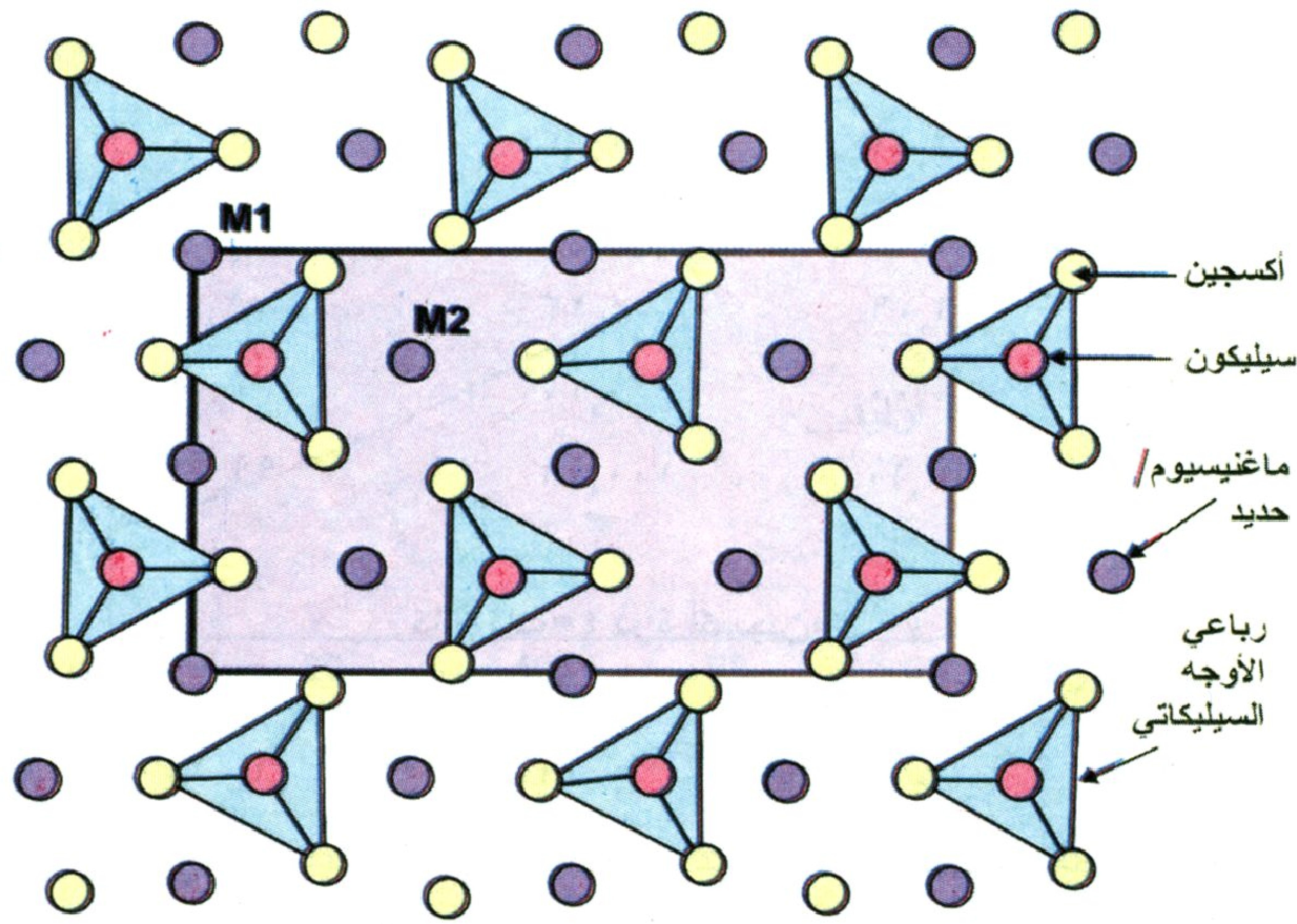
تتبلور جميع معادن الأوليفين فى فصيلة المعينى القائم (شكل ٢-١) وبلوراتها منشورية قصيرة، كما توجد على هيئة كتلية أو حبيبية. يندر وجود التوأمية، وعند وجودها ينتج عنها شكل نجمي Star shaped trillings.



شكل ٢-١: العلاقة بين المحاور البلورية a, b, c ومحاور مجسم معامل الإنكسار X, Y, Z فى بلورة لمعدن الأوليفين، كما يظهر بالشكل إتجاه المحوريين البصريين OA ومقدار الزاوية البصرية (2V). OAP= المستوى المحوري البصري.

تتكون البنية البلورية من وحدات رباعي الأوجه السيليكاتي المنعزلة والتي تتصل ببعضها عن طريق وحدات ثمانى الأوجه (ماغنسيوم فى حالة الفورستريت وحديد فى حالة الفياليت). يوجد موقعين للكاتيونات بالبنية البلورية للأوليفين M2, M1 (شكل ٢-٢). يبلغ طول الرابطة بين الموقع M1 والأكسجين (M1-O) ٢,١٦ أنجستروم، بينما الرابطة في حالة الموقع M2 تكون أطول بدرجة طفيفة (٢,١٩ أنجستروم). يناسب الموقع M2 تواجد الأيونات كبيرة الحجم مثل الكالسيوم والمنجنيز وذلك لكونه مشوهاً إلى حد ما بالنسبة إلى الترتيب الهندسي المنتظم، بينما يناسب الموقع M1 تواجد أيونات صغيرة الحجم مثل النيكل. ونظراً لوسطية حجم أيون الحديد، فإنه يشغل أي من الموقعين حسب ظروف درجات الحرارة. فعند درجات الحرارة العالية، يتواجد الحديد بكلا الموقعين، ولكن مع إنخفاض درجة الحرارة، فإنه يفضل

التواجد بإحداهما وهذا السلوك للحديد يجعل من الأوليفين معدن جيد في مقاييس الحرارة Geothermometers.



شكل ٢-٢: البنية البلورية للأوليفين خلال المحور البلوري " a ".

كيميائية المعدن Mineral chemistry

توجد سلسلة محلول-صلب كاملة يكون طرفيها الفورستريت (Mg_2SiO_4) والفياليت (Fe_2SiO_4) (شكل ٢-٣). ينصهر الفورستريت في درجة حرارة (١٨٩٠°م) أعلى من الفياليت (١٢٠٥°م) ويرجع ذلك إلى صغر نصف قطر أيون الماغنسيوم عن أيون الحديد حيث ينجذب كل من الماغنسيوم والأكسجين لبعضهما أكثر من الحديد والأكسجين. عند تبريد الصهير، يتبلور الفورستريت الغني بالماغنسيوم أولاً ومع إستمرار عملية التبلور يصبح الصهير أكثر غنى بالحديد حيث يتبلور فى النهاية الفياليت. من الممكن وجود كميات بسيطة من الكالسيوم والنيكل نتيجة إحلالهما محل الماغنسيوم والحديد فى معادن هذه السلسلة (جدول ٢-٢).

جدول ٢-٢: التحليل الكيميائي للأوليفين من مناطق مختلفة.

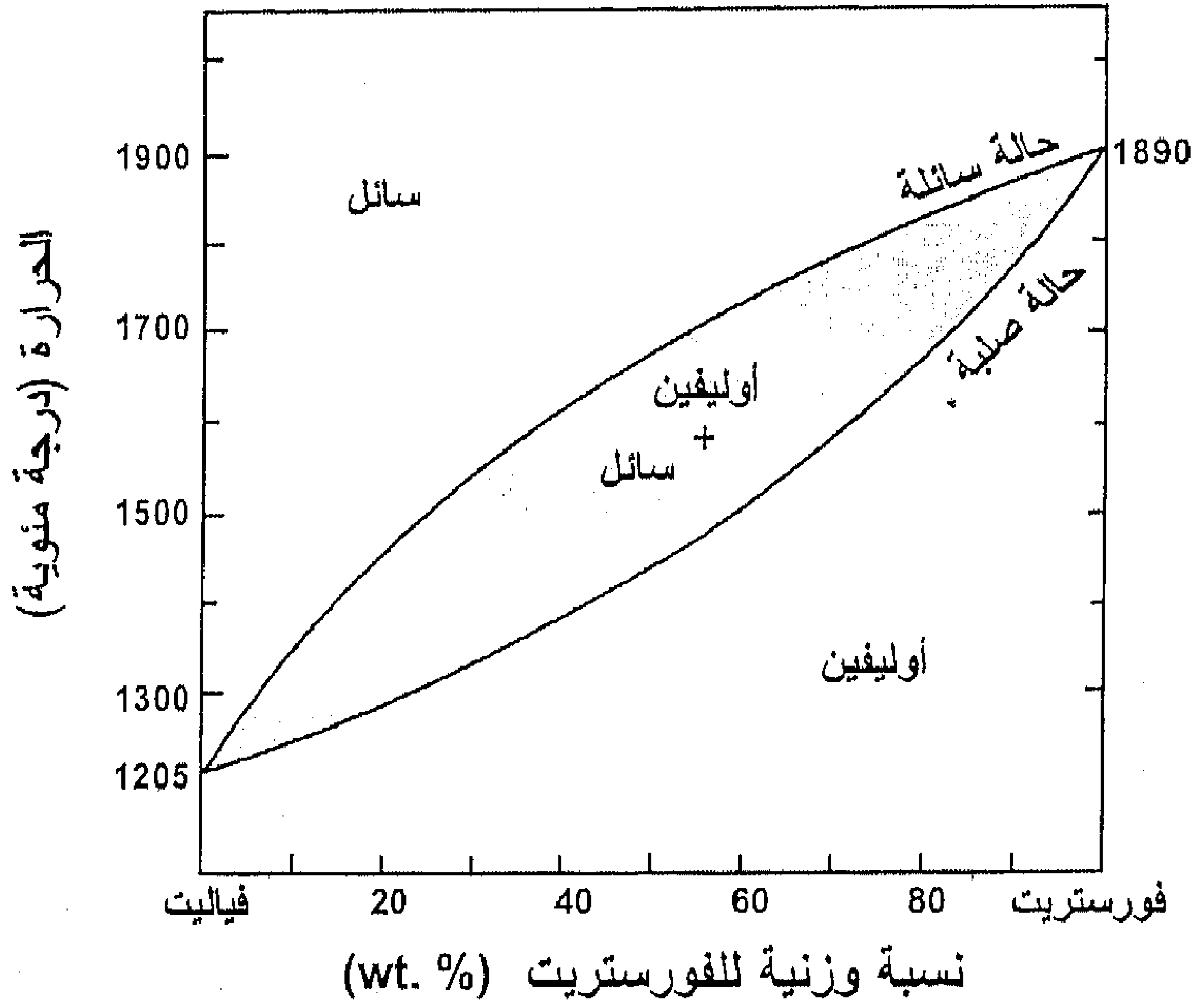
	١	٢	٣	٤
SiO_2	٤٢,٧١	٤٣,١٣	٣٩,٩٩	٢٩,٨٠
TiO_2	٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠٠	٠,١٢
Al_2O_3	٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠٦
FeO	٣,٦٨	٢,٧٣	١٢,٨٢	٦٥,٦٠
MnO	٠,٢٧	٠,٠٠	٠,٣١	١,٦٩
MgO	٥٢,٤٥	٥٤,٢٣	٤٦,٠٩	١,٧٢
CaO	٠,١٥	٠,٠٠	٠,٠٠	٠,١٩
المجموع	٩٩,٢٦	١٠٠,٠٩	٩٩,١٠	٩٩,٢١
		كاتيونات=٤ ذرة أكسجين		
Si	١,٠٢	١,٠١٩	١,٠٠٢	١,٠٠٢
Ti	٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠٠٣
Al	٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠٠٢
Fe^{2+}	٠,٠٨	٠,٠٥٤	٠,٢٦٩	١,٨٤٥
Mn	٠,٠١	٠,٠٠	٠,٠٠٧	٠,٠٤٨
Mg	١,٨٧	١,٩٠٩	١,٧٢٩	٠,٠٨٦
Ca	٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠٠٧

١= فورستريت بالصخور الرسوبية المتحولة metasediments بمنطقة القظة، المملكة العربية السعودية (عن درووب والفيلالي ١٩٩٦ Droop and Al-Filali).

٢= فورستريت بالصخور الرسوبية المتحولة بمنطقة القظة، المملكة العربية السعودية (عن درووب والفيلالي ١٩٨٩ Droop and Al-Filali).

٣= فورستريت بصخور الدونيت بمنطقة عكارم، مصر (عن حلمي وموجيسي ٢٠٠١ Helmy and Mogessie).

٤= فياليت بصخور النيازك بمنطقة ميلر رينج (Antarctic meteorite, Miller Range (MIL (عن داي وأخرون ٢٠٠٦ Day et al.).



شكل ٢-٣: مخطط الصنف للأوليفين عند ضغط الغلاف الجوي (عن براون وشايرير ١٩٣٢ Brown and Shairer).

الصفات الفيزيائية والبصرية Physical and optical characteristics

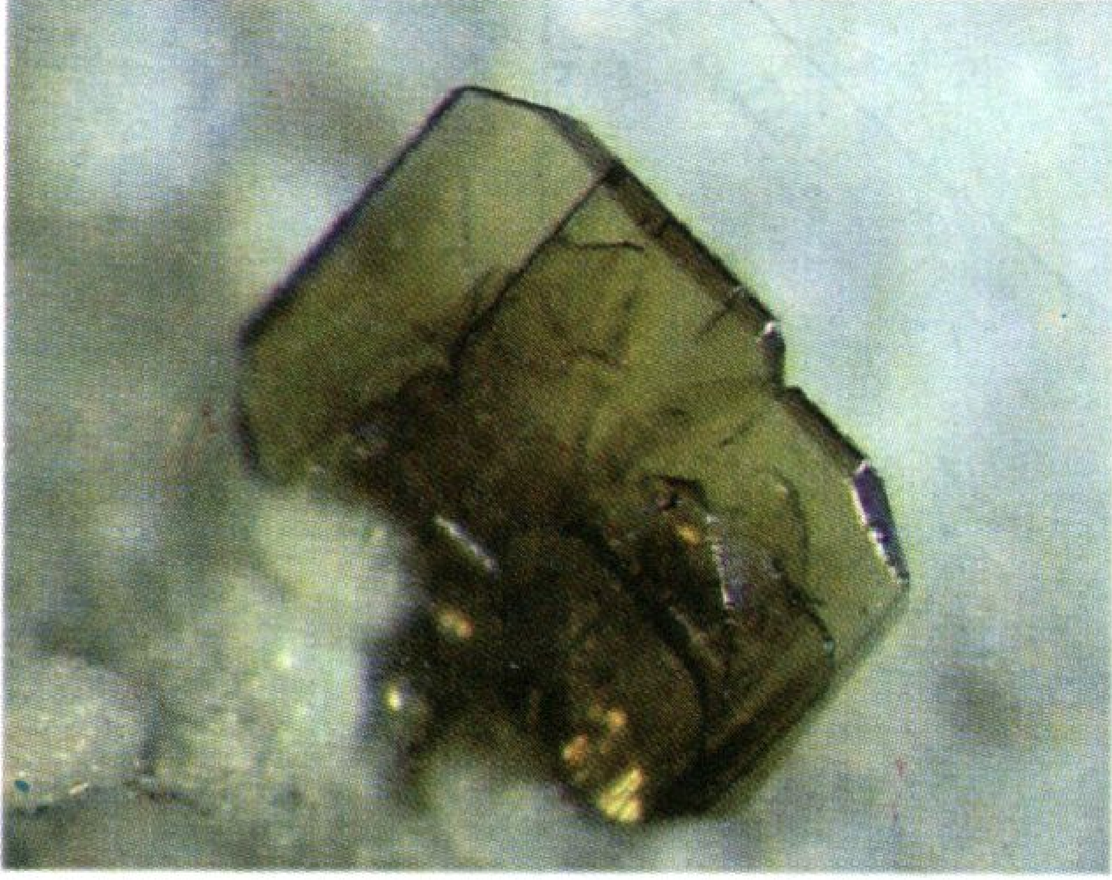
اللون أخضر إلى أخضر مصفر أو بني مخضر إلى أسود (شكل ٢-٤). كما يمكن أن يوجد الفورستريت النقي كمعدن عديم اللون، بينما يُميز اللون البني المخضر إلى الأسود معدن الفياليت النقي. البريق زجاجي والمخدش أبيض والمعادن شفافة إلى نصف شفافة. تتراوح الصلادة بين ٦,٥ و٧ والإنفصام ضعيف فى إتجاهين بينهما زاوية ٩٠° ويظهر بوضوح فى الفياليت. المكسر محاري والوزن النوعي حوالي ٣,٢ للفورستريت و٤,٣ للفياليت. تحت الميكرسكوب، يُظهر كلا المعدنين تضاريس عالية موجبة. تتغير معاملات الإنكسار وقرينة الإنكسار المزدوج والزاوية البصرية مع تغير نسبة الحديد (شكل ٢-٥). المعادن ثنائية المحور(موجب أو سالب) وتبلغ معاملات الإنكسار ألفا (α) =١,٦٣٦- ١,٨٢٧ وبيتا (β)= ١,٦٥١-

١,٨٦٩ وجاما (γ)=١,٦٦٩-١,٨٧٩ وقرينة الإنكسار المزدوج (δ)=٠,٠٣٣-٠,٠٥٢ والزاوية البصرية ($2V$)= ٤٦- ٩٨°.

(أ)



(ب)



(ج)



(د)



شكل ٢-٤: (أ) بلورتان من الفورستريت أخضر اللون ، باكستان (٣x٣x٢ سم) (www.italianminerals.com/ASIA/Forsterite.html). (ب) بلورة من الفياليت ذات لون بني على معدن الكريستوباليت من كاليفورنيا (© Lou Perloff / Photo Atlas of Minerals). (ج) فورستريت شفاف من جزيرة الزبرجد بالبحر الأحمر، مصر (١,٤x١,٢x٠,٣ سم) (http://www. fabreminerals. com). (د) ألوان التداخل من الرتبة الثانية إلى الثالثة والمميزة لمعادن الأوليفين.

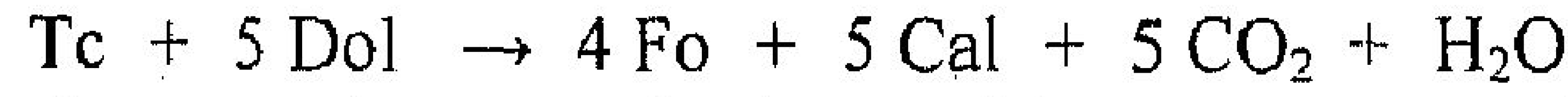
التواجدات والصحبة المعدنية Occurrences and mineral association

توجد معادن الأوليفين بالصخور النارية فوق المافيه والمافية، كما توجد أيضاً بالصخور المتحولة. يعتبر الفياليت أقل الأنواع إنتشاراً. يكثر وجود الفورستريت بالصخور الكربوناتية المتحولة حيث يتكون من تفاعل التلك مع الماجنيزيت أو مع الدولوميت أو تفاعل التريموليت مع الدولوميت كما هو واضح من المعادلات التالية:



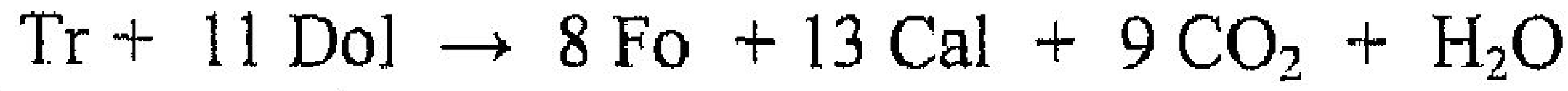
$$Tc + 5\,Mag \rightarrow 4\,Fo + 5\,CO_2 + H_2O$$

تلك ماجنيزيت فورشتريت



$$Tc + 5\,Dol \rightarrow 4\,Fo + 5\,Cal + 5\,CO_2 + H_2O$$

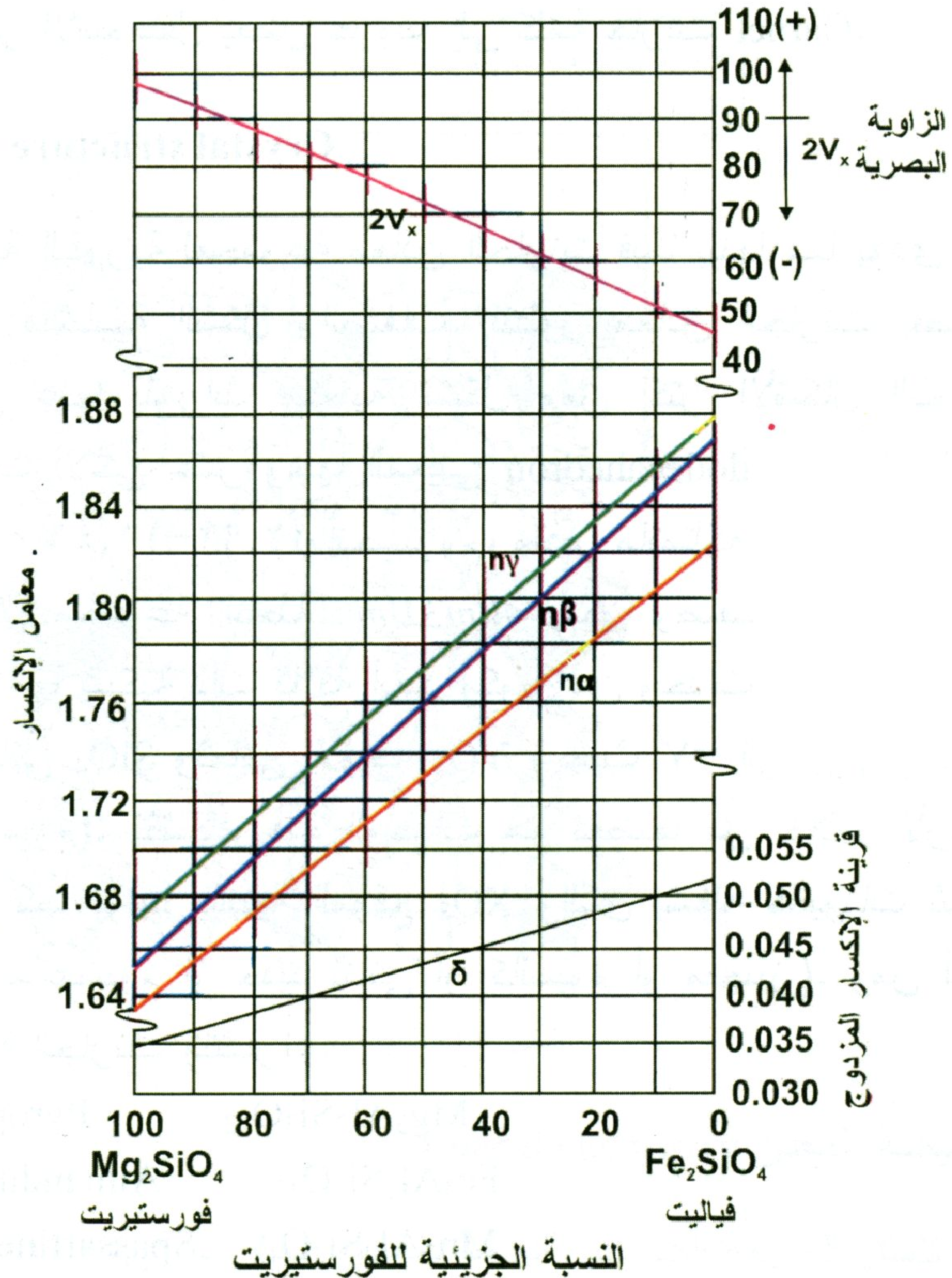
كالسيت فورشتريت دولوميت تلك



$$Tr + 11\,Dol \rightarrow 8\,Fo + 13\,Cal + 9\,CO_2 + H_2O$$

كالسيت فورشتريت دولوميت تريموليت

ومن أهم أماكن تواجد معادن الأوليفين: جزيرة الزبرجد بمصر حيث يتواجد بالعروق القاطعة للصخور فوق المافيه. كما يوجد ببورما (موجوك Mogok وميانمار Myanmar) وبجبال الأورال بروسيا وأريزونا بالولايات المتحدة الأمريكية وجنوب أفريقيا وباكستان والنرويج والسويد وفرنسا واستراليا والصين والبرازيل والمانيا والمكسيك وأثيوبيا.



شكل ٢-٥: تغير معاملات الإنكسار وقرينة الإنكسار المزدوج والزاوية البصرية بتغير النسبة الجزيئية للفورستيريت بسلسلة الفورستيريت-الفياليت.

الاستخدامات Uses

تستخدم الأنواع النقية من الأوليفين والتى تسمى بيريدوت Peridot كحجر كريم، كما يستخدم الأوليفين كمادة تساعد على صهر المعادن فى العديد من الصناعات كصناعة الحديد الصلب. كما يمكن إستخدامه كمصدر للماغنسيوم.

مجموعة الجارنت Garnet group

يرجع الاسم إلى الكلمة اللاتينية *granatium* والتى تعني شجرة الرمان وذلك للتشابه بين بلورات الجارنت الصغيرة الحمراء وحبيبات الرمان. مع الوقت تم تحوير الاسم بنقل بعض حروفه إلى كلمة جارنت Garnet.

البنية البلورية Crystal structure

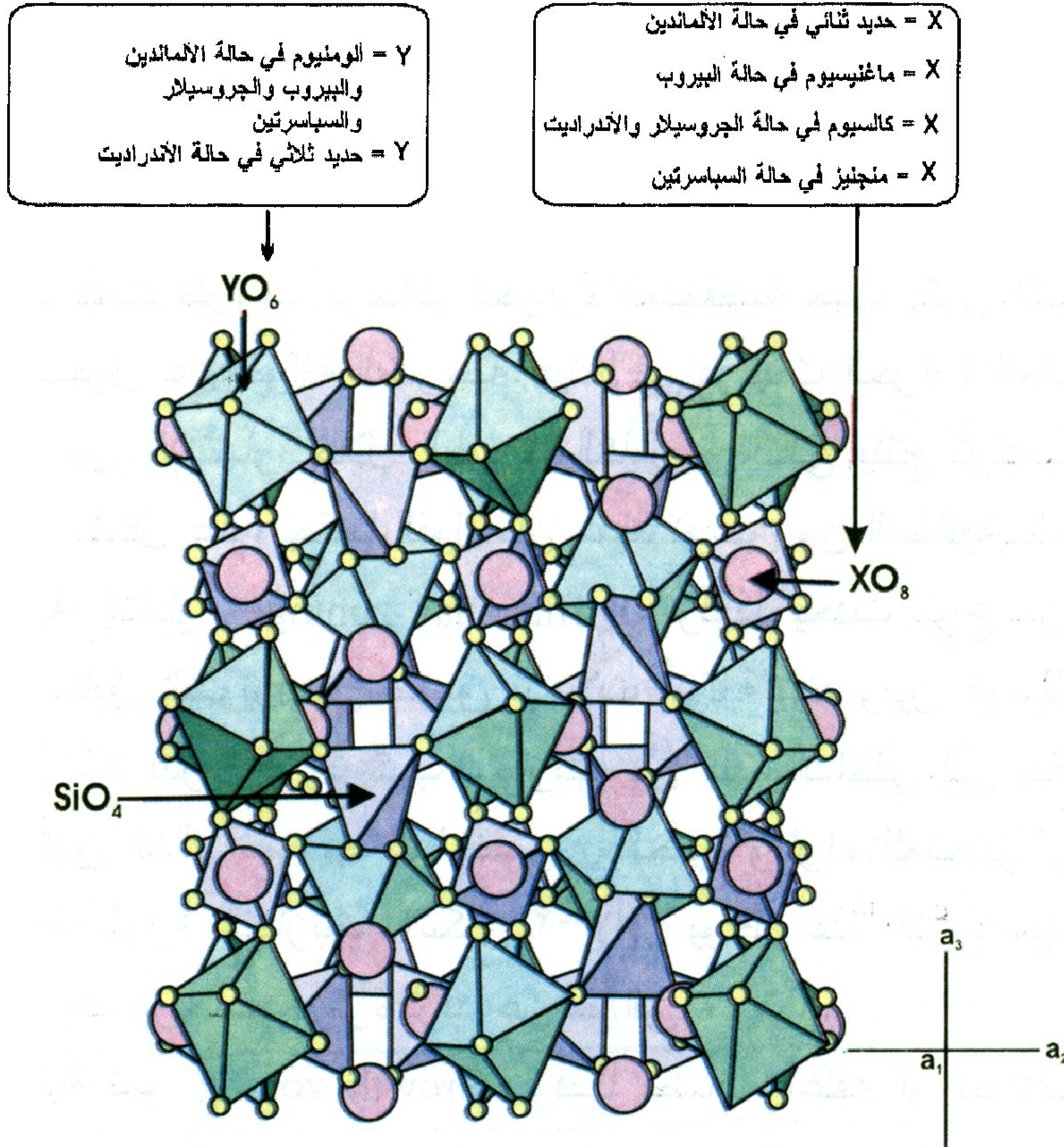
تتشابه البنية البلورية لمجموعة معادن الجارنت فيما بينها مما يؤدى إلى تكّون بلورات متشابهة الشكل والصفات. تتبلور معادن الجارنت بفصيلة المكعب وينتج عنها بلورات مكعبية الشكل ومن أكثر الأشكال البلورية إنتشاراً للجارنت الإثنى عشر وجهاً المعينى Rhomic dodecahedron. أبعاد خلية الوحدة: أ= ١١,٤٦–١٢,٩٢ أنجستروم، مقدار ماتمتلكه خلية الوحدة من الذرات (Z)=٨، مجموعة النقطة: $4/m\bar{3}2/m$. يمكن وصف البنية البلورية للجارنت على أنها شبكية ذات ثلاثة أبعاد مكونة من وحدات متبادلة لرباعى الأوجه السيليكاتى SiO_4 وثمانى الأوجه YO_6 (حيث Y= الومنيوم أو حديد ثلاثى أو كروميوم). تتشابك هذه الوحدات مع بعضها من خلال الأركان (شكل ٢–٦). كما يوجد بالبنية الموقع XO_8 والذى يشغله كاتيونات ثنائية التكافؤ (X= ماغنسيوم أو حديد ثنائى أو كالسيوم أو منجنيز). ومن أكثر معادن مجموعة الجارنت إنتشاراً:

بيروب	Pyrope	$Mg_3Al_2Si_3O_{12}$
الماندين	Almandine	$Fe_3Al_2Si_3O_{12}$
سباسرتين	Spassartine	$Mn_3Al_2Si_3O_{12}$
جروسيلار	Grossular	$Ca_3Al_2Si_3O_{12}$

أندراديت Andradite $Ca_3 Fe_2^{3+}Si_3O_{12}$

يوفاروفيت Uvarovite $Ca_3Cr_2Si_3O_{12}$

كما يوجد بعض الأنواع غير الشائعة والنادرة الوجود لمجموعة الجارنت وهي: كالديريت Calderite وجولدمانيت Goldmanite وهنريتيرميريت Henritermerite وهيبشيت Hibschite وكاتويت Katoit وكيمزيت Kimzeite وكنورينجيت Knorringite وماجوريت Majorite وموريموتيت Morimotoite وشورلوميت Shorlomite.



شكل ٢-٦: البنية البلورية لمعادن الجارنت.

كيميائية المعدن Mineral chemistry

تتمثل الصيغة الكيميائية العامة لمعادن الجارنت في: $X_3Y_2Si_3O_{12}$ حيث:

X = كاتيونات ثنائية التكافؤ مثل الحديد الثنائى والماغنسيوم والمنجنيز والكالسيوم

Y = كاتيونات ثلاثية التكافؤ مثل الألومنيوم والحديد الثلاثي والكروميوم.

تمثل مجموعة معادن الجارنت نموذج جيد للمحاليل الصلبة ويرجع ذلك إلى عمليات إستبدال الكاتيونات المختلفة فى البنية البلورية بالموقع XO_8 وتتمثل هذه الكاتيونات فى الماغنسيوم والحديد الثنائى والمنجنيز والكالسيوم (جدول ٢-٣).

النطاقية بالجارنت Garnet zoning

يُظهر الجارنت عادةً نوع من النطاقية التركيبية والتى تنتج عن عمليات بطيئة من الإنتشار الأيونى بالشبكية البلورية للجارنت. تكثر النطاقية بالجارنت تحت ظروف درجات الحرارة المنخفضة حيث يكون اللب الداخلى للمعدن منعزل عن حوافه الخارجية. بينما فى درجات الحرارة العالية، تتمكن الأيونات من الإنتشار خلال البلورة بالكامل وبالتالي ينتج تركيب متجانس للجارنت. بشكل عام، يمكننا القول بأن هناك نوعين من النطاقية بالجارنت:

١- نطاقية إنتشار Diffusional zoning، وفيها يحدث نوع من التحوير لجارنت سابق التكوين عن طريق تبادلات أيونية بينه وبين الوسط المحيط، ينتج عن ذلك تدرج فى تركيب الجارنت من اللب الداخلى إلى حافة البلورة بحيث يكون هناك نضوب للماغنسيوم والحديد وإثراء للمنجنيز والكالسيوم عند حافة بلورة الجارنت (شكل ٢-٧أ). يوجد هذا النوع من النطاقية للجارنت عند درجات حرارة تزيد عن حوالى ٦٠٠°م.

٢- نطاقية نمو Growth zoning، وفيها تضاف أغلفه أو نطاقات متتابعة لمكونات تعتمد في تركيبها على تركيب الوسط المحيط Matrix وحالة الإتزان بينهما. فى مثل هذا النوع من النطاقية، يكون اللب لبلورة الجارنت غني بالمنجنيز و/أو الكالسيوم وتزداد نسبة الماغنسيوم والحديد فى جهة حواف بلورة الجارنت (شكل ٢-٧ب). ينشأ هذا النوع من النطاقية فى ظروف درجة حرارة أقل من ٦٠٠°م.

جدول ٢-٣: التحليل الكيميائي للجارنت من مناطق مختلفة.

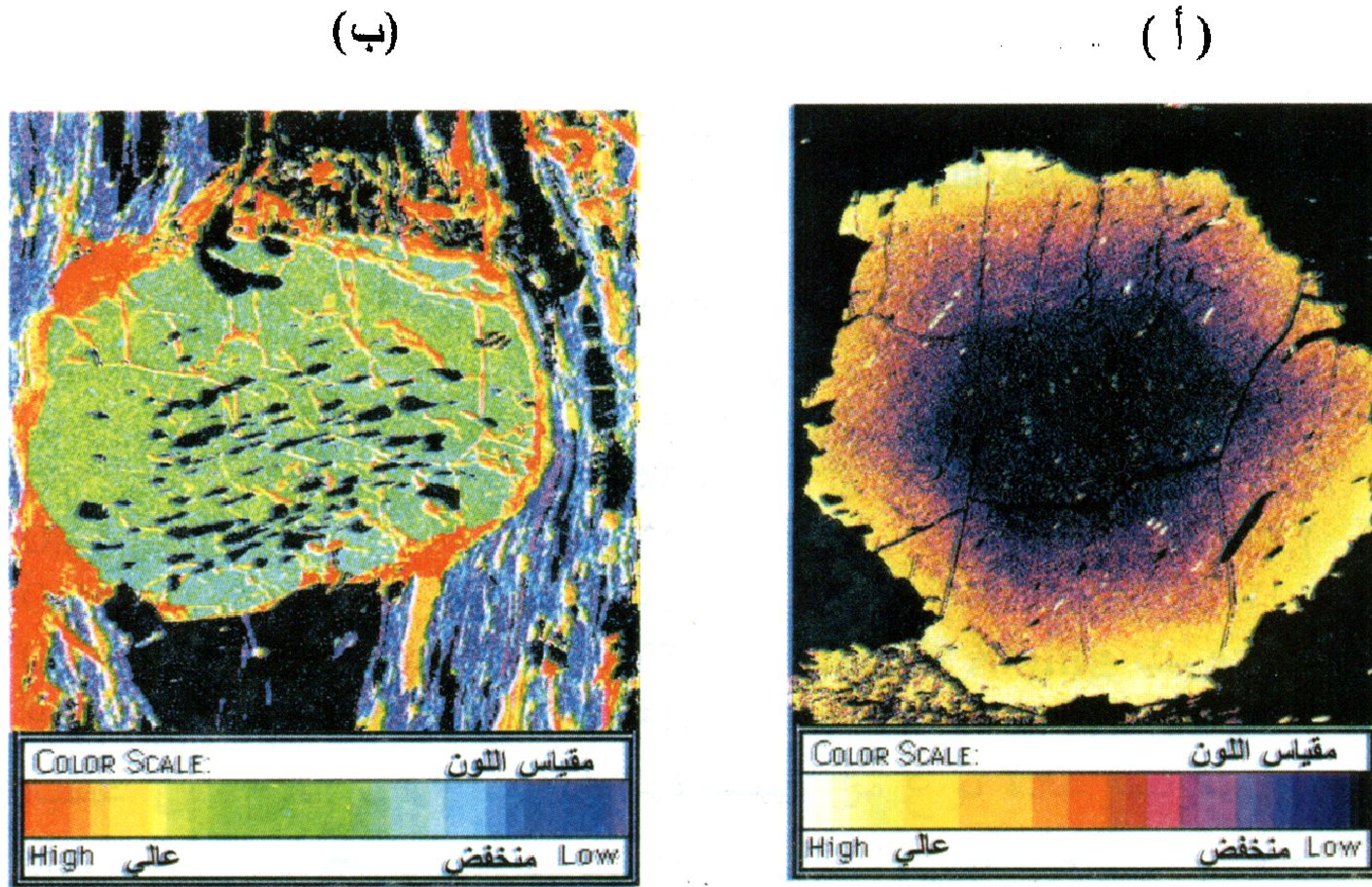
	١	٢	٣	٤
SiO_2	٤٠,٣٣	٣٦,٢٠	٣٨,٦٥٢	٣٧,٩٥
TiO_2	٠,٠٠	٠,٥٤	٠,٠٠	٠,٠٣
Al_2O_3	٢١,٩٢	٥,٧١	٢١,٦٥٩	٢١,٣٠
Cr_2O_3	٠,١٨	٠,٠٥	٠,٠٠	٠,٠١
Fe_2O_3	١,٢٢	٢٢,٥٤	٠,٠٠	٠٠,٠٠
FeO	٠,٧٥	٤,٦٤	٢٧,١٩١	٢٧,٦٠
MnO	٠,١٦	٠,١٦	٧,١٩١	٢,٣٠
MgO	٠,٣٢	٠,٠٤	٥,٥٧٨	٥,١٦
CaO	٣٦,٥٠	٣٠,٣٦	١,٠٤٧	٥,٦٢
المجموع	١٠١,٣٩	١٠٠,٢٤	١٠١,٣	٩٩,٩٦
		١٢ ذرة أكسجين		
Si	٣,٠٠	٢,٩٩	٣,٠١٩	٢,٩٨
Ti	٠,٠٠	٠,٠٣	٠,٠٠	٠,٠٠
Al	١,٩٢	٠,٥١	١,٩٩٢	١,٩٧
Cr	٠,٠١	٠,٠١	٠,٠٠	٠,٠٠
Fe^{3+}	٠,٠٧	١,٤٤	٠,٠٠	٠,٠٠
Fe^{2+}	٠,٠٥	٠,٢٧	١,٧٧٦	١,٨١
Mn	٠,٠١	٠,٠٠	٠,٤٧٦	٠,١٥
Mg	٠,٠٣	٠,٠٢	٠,٦٤٩	٠,٦٠
Ca	٢,٩١	٢,٧٣	٠,٠٨٨	٠,٤٧
الماندين	١,٥٥	٠,٠٠	٥٩,٤٢	٥٨,٧٤
بيروب	١,١٨٢	١٥,٤٤	٢١,٧٣	٢٠,٢٥
جروسيلار	٩٢,٩٨٥	٢,٨٣٦	٢,٩٣١	١٢,٦١
سباسرتين	٠,٣٣٦	٠,٣٥١	١٥,٩١	٥,١٣
أندراديت	٣,٤١	٨١,٢٢	٠,٠٠	٠,٠٠
يوفاروفيت	٠,٥٢٩	٠,١٥٤	١,٧٧٦	٠,٠٠

١- جروسيلار بالصخور الرسوبية المتحولة بمنطقة القظة، المملكة العربية السعودية (عن درووب والفيلالي ١٩٩٦ Droop and Al-Filali).

٢- أندراديت بالصخور الرسوبية المتحولة بمنطقة القظة، المملكة العربية السعودية (عن درووب والفيلالي ١٩٩٦ Droop and Al-Filali).

٣- الماندين بصخور الأمفيبوليت بوادي جيثوا Wadi Jithwah، المملكة العربية السعودية (عن الفيلالي وعبد النبي ٢٠٠٣ Al-Filali and Abd El-Naby).

٤- ألماندين بصخور الأمفيبوليت بمنطقة وادي حيمور، جنوب الصحراء الشرقية، مصر (عن عبد النبي وفريش ٢٠٠٠ Abd El-Naby and Frisch)



شكل ٢-٧: (أ) بلورة من الجارنت تظهر نطاقية لعنصر الكالسيوم (مساحة الصورة = ٢,٤٨مم٢).
(ب) بلورة من الجارنت تظهر نطاقية لعنصر الماغنسيوم (مساحة الصورة = ٤,٠٩٦مم٢).

الصفات الفيزيائية والبصرية Physical and optical characteristics

يختلف اللون من معدن لأخر حسب تركيبه الكيميائي، يكون اللون أحمر إلى بني محمر فى حالة البيروب والألماندين والسباسرتين، وأحياناً أسود أو برتقالى أو وردي غامق أو بني (شكل ٢-٨). يكون الجروسيلار عديم اللون أو وردى أو بني ويتخذ الأندراديت لون أصفر ذهبي أو أخضر أو بني أو أسود ويكون اللون في اليوفارفيت أخضر فاتح. البريق زجاجي والمخدش أبيض اللون فى جميع أنواع الجارنت. المعادن شفافه أو نصف شفافة. تتراوح الصلادة بين ٦,٥ و ٧ والوزن النوعى بين ٣,١ و٤,٢ إعتماداً على التركيب الكيميائى. تحت الميكرسكوب، يتشابه اللون مع ألوان العينات اليدوية ولكنها تكون شاحبة. التضاريس عالية موجبة. معظم معادن الجارنت أيزوتروبية (شكل ٢-٩) ولكن أحياناً يبدو الجروسيلار والأندراديت وبعض السباسرتين كمعادن غير أيزوتروبية. تختلف معاملات الإنكسار لتلك المعادن حسب التركيب الكيميائى. كما يمكن الإعتماد على المعلومات التى نحصل

عليها من معاملات الإنكسار والوزن النوعي وأبعاد خلية الوحدة فى معرفة تركيب الجارنت كما هو واضح من الشكل رقم (٢-١٠ أ، ب).

(أ)



(ب)

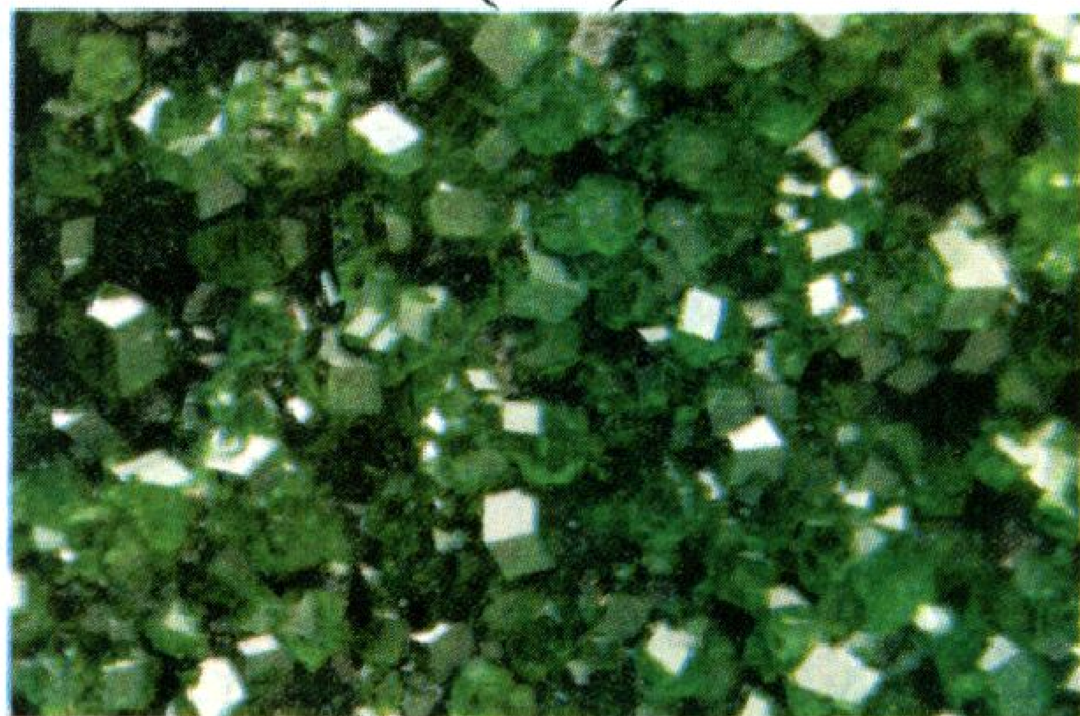


(ج)



(د)

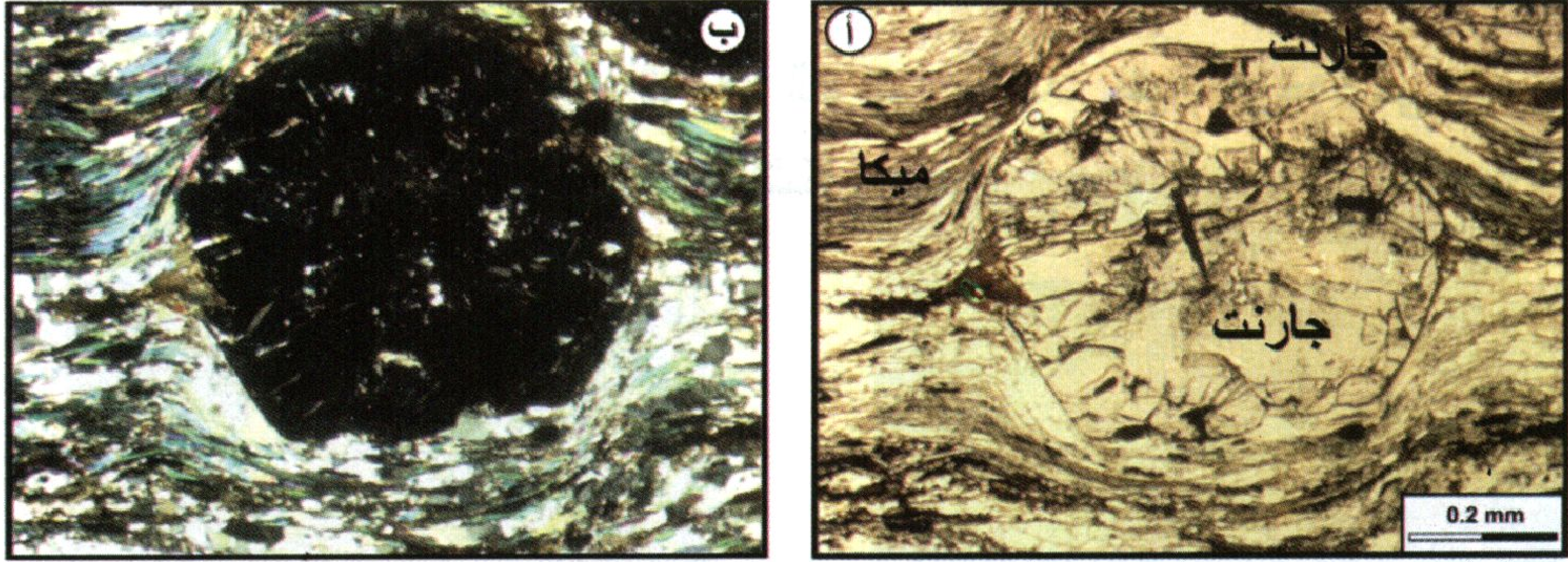
(هـ)



(و)



شكل ٢-٨: (أ) بلورتين من الألماندين البني المحمر من منجم فاني جورجي Fanny Gorge، الولايات المتحدة الأمريكية (webmineral.com/specimens/picshow.php?id=21). (ب) جروسيلار وردي اللون. (ج) سباسرتين بني اللون (متحف أريزونا للمعادن Arizona Mining and Mineral Museum). (د) بلورة بيروب شفافة وذات لون أحمر غامق من منطقة جوفيرنادور فالاداريس Governador Valadares (webmineral.com/specimens/picshow.php?id=1427). (هـ) يوفاروفيت اخضر اللون من منجم سارانوفيسكي Saranovskii Mine، روسيا (www.mindat.org/picshow.php?id=10413). (و) أندراديت أصفر ذهبي من منجم ستانلي باتي، أريزونا Stanley Butte, Arizona (http://www.cs.cmu.edu./images/minerals/andradite.jpg).



شكل ٢-٩: بيرفيروبلاست من الجارنت بصخور الشيست الميكائي بمنطقة وادي نجرس، الصحراء الشرقية، مصر. (أ) تحت الضوء المستقطب، (ب) تحت منشوري نيكول.

التواجدات والصحبة المعدنية Occurrences and mineral association

يعتبر الجارنت من المعادن واسعة الإنتشار، حيث يتواجد بشكل أساسي بالصخور المتحولة، كما يوجد فى بعض الصخور النارية مثل الجرانيت المتكون غالباً من أصل رسوبى وكذلك فى عروق البيجماتيت. يبدأ ظهور معادن الجارنت عند حوالي ٤٥٠ درجة مئوية في التحول الإقليمي للصخور البيليتية حسب التفاعل التالي:



$$2 \text{ muscovite} + 3 \text{ chlorite} + 6 \text{ quartz} \rightarrow 5 \text{ garnet} + 2 \text{ albite} + 14\ H_2O$$

كما يصاحب الجروسيلار والأندراديت الصخور الجيرية المتحولة تلامسياً حيث يتكون الجروسيلار نتيجة تفاعل الأنورثيت مع الولاستونيت:

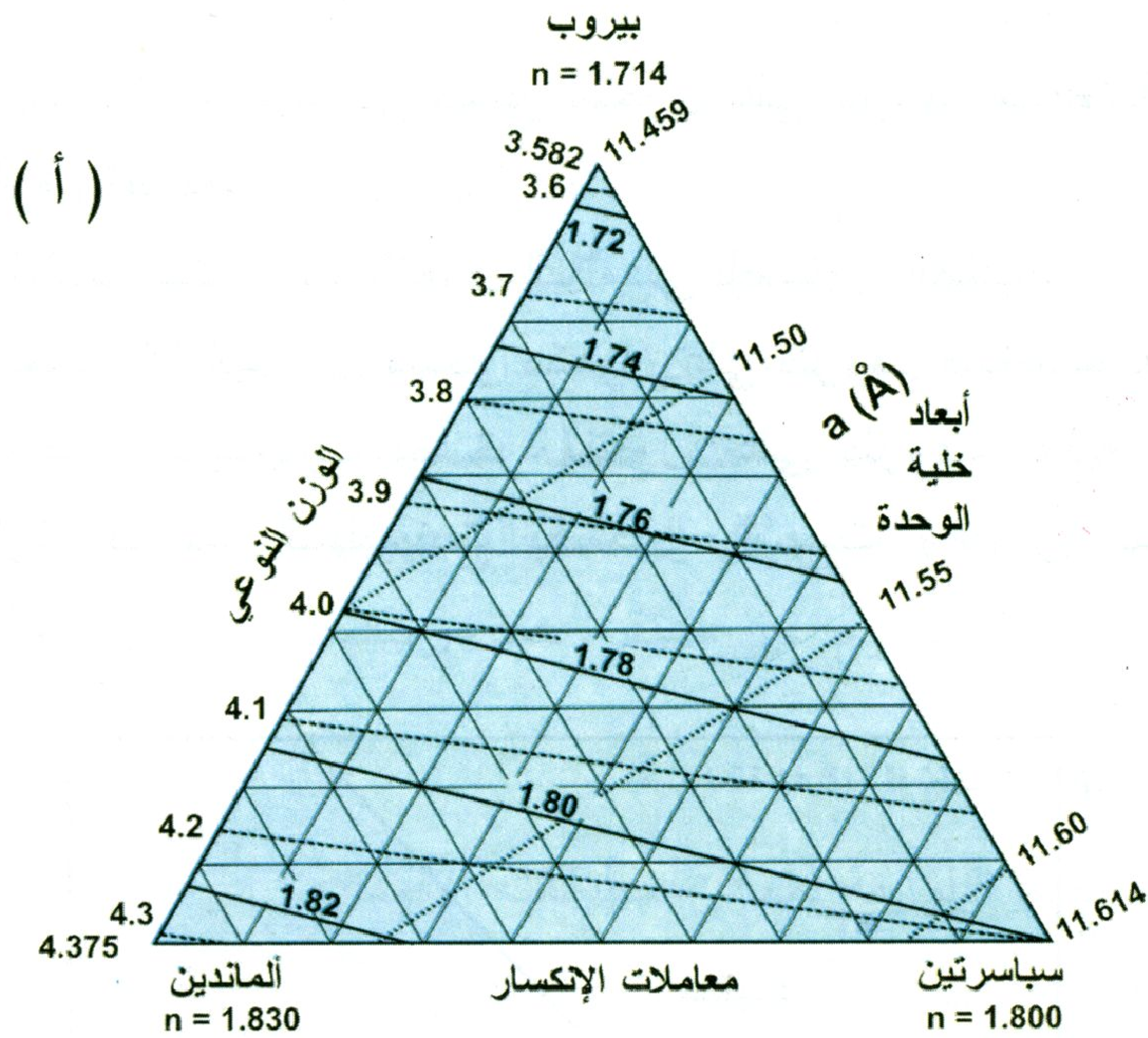


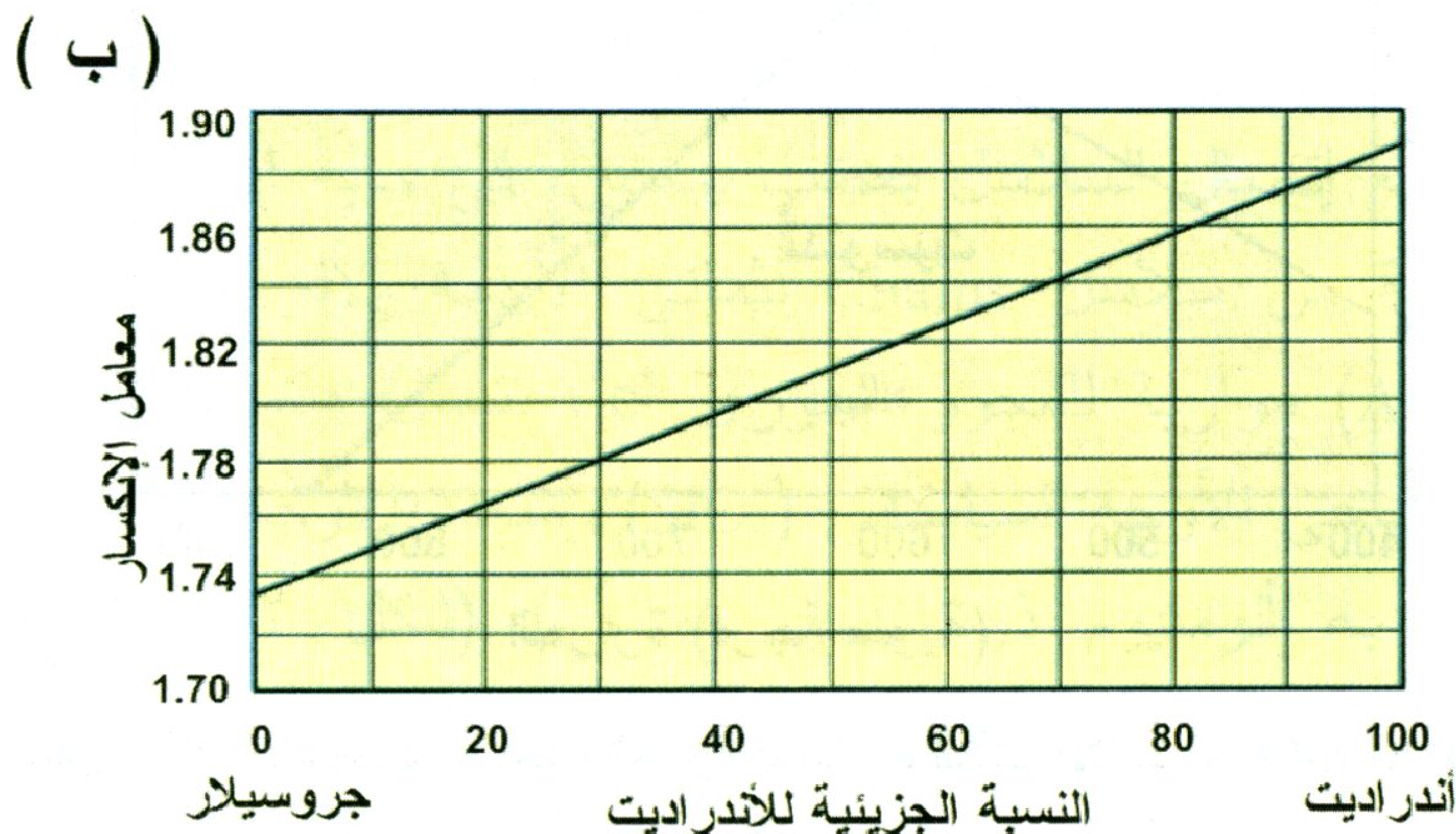
$$2 \text{ Wollastonite} + \text{Anorthite} \rightarrow \text{Grossulare} + \text{Quartz}$$

يكثر وجود الألماندين بصخور الشيست الميكائى والأمفيبوليت، بينما ينحصر تواجد البيروب بالصخور النارية فوق المافية وصخور السربنتينيت الناتجة عن تجويتها. أما السباسرتين والمعادن المحصورة بينه وبين الألماندين فإن وجودها يكثر بالصخور النارية الفلسية مثل البيجماتيت والجرانيت والريوليت. من المعادن المصاحبة للجارنت: الكالسيت والميكا والكلوريت والديوبسيد والأمفيبول والسربنتين والفلسبار والكوارتز والستوروليت. ومن أشهر أماكن تواجده: كندا والمكسيك وكينيا وإيطاليا وألمانيا ومدغشقر وروسيا وأمريكا. كما يكثر تواجد الجارنت بصخور الأمفيبوليت والشيست الميكائي بالدرع العربي النوبي (جدول ٢-٣).

الاستخدامات Uses

تستعمل بعض أنواع الجارنت كحجر شبه كريم. كما تستعمل كميات كبيرة منه فى صناعة أحجار التجليخ وورق الصنفرة وأحجار الطحن والنشر وذلك نتيجة لصلادته العالية. كما يستخدم فى بعض المواد المستخدمة فى ترشيح المياه.





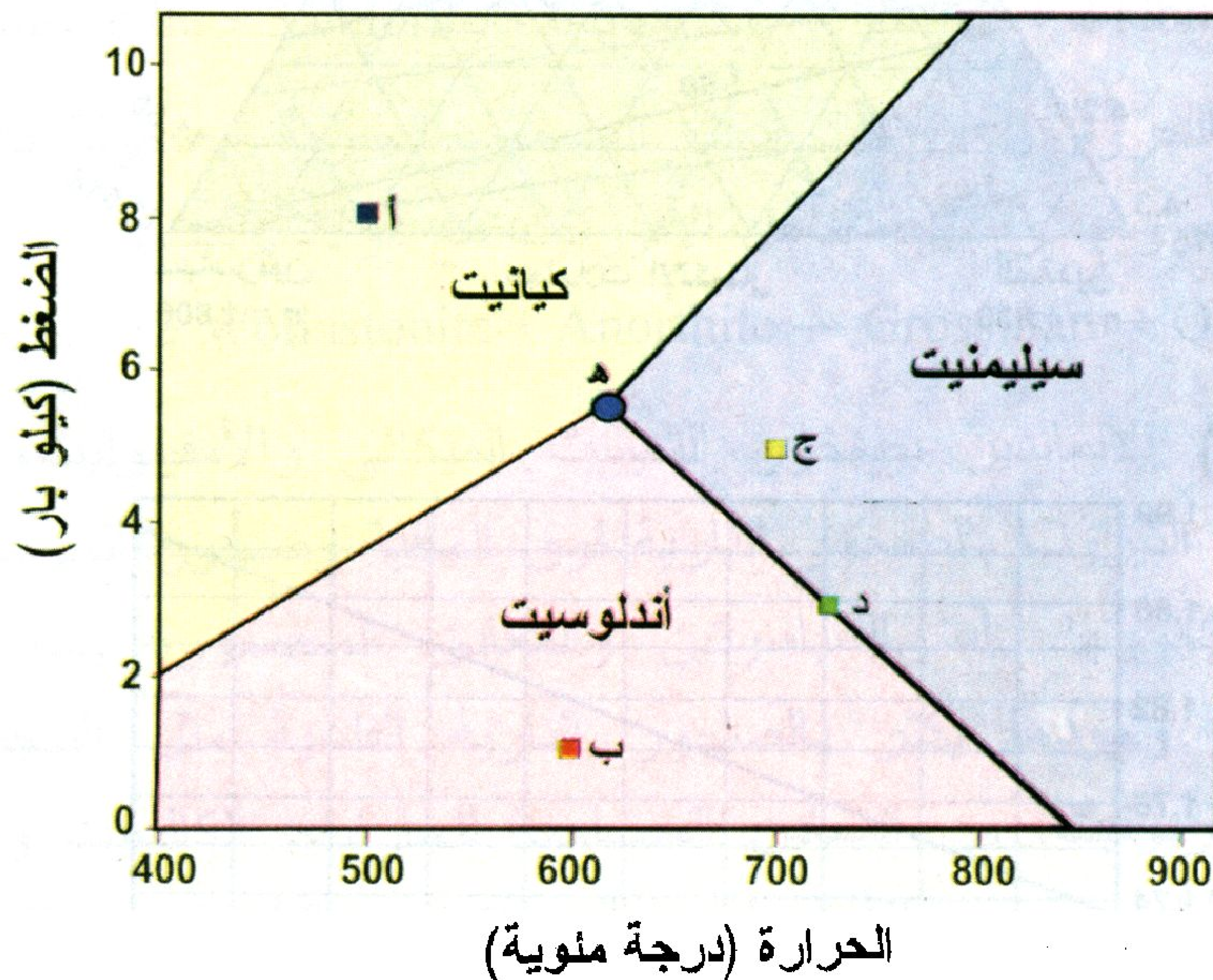
شكل ٢-١٠: (أ-ب) أبعاد خلايا الوحدة والوزن النوعي ومعاملات الانكسار للجارنت والتى يمكن من خلالها معرفة تركيبه ونوعه (فينشيل ١٩٥٨ Winchel).

معادن سيليكات الألومنيوم Aluminium silicate minerals

أندلوسيت- سيليمينيت- كيانيت Andalusite-Silliminite-Kyanite

تتكون معادن سيليكات الألومنيوم تحت ظروف معينة من درجات الحرارة والضغط، وتكتسب تلك المعادن أهمية خاصة للباحثين فى نشأة الصخور المتحولة وذلك لدورها كمعادن دالة على ظروف الضغط والحرارة (شكل ٢-١١)، حيث:

- يدل وجود الأندلوسيت فى صخر متحول على ظروف منخفضة نسبياً من الحرارة والضغط.
- يميز الأندلوسيت بيئات التحول التلامسي للصخور الطفلية.
- يدل وجود الكيانيت فى صخر متحول على ظروف ضغط مرتفع
- يدل وجود السيليمينيت بصخر متحول على ظروف عالية من درجة الحرارة. يتواجد السيليمينيت بصخور الشيست والنايس الناجمة عن تداخلات نارية.



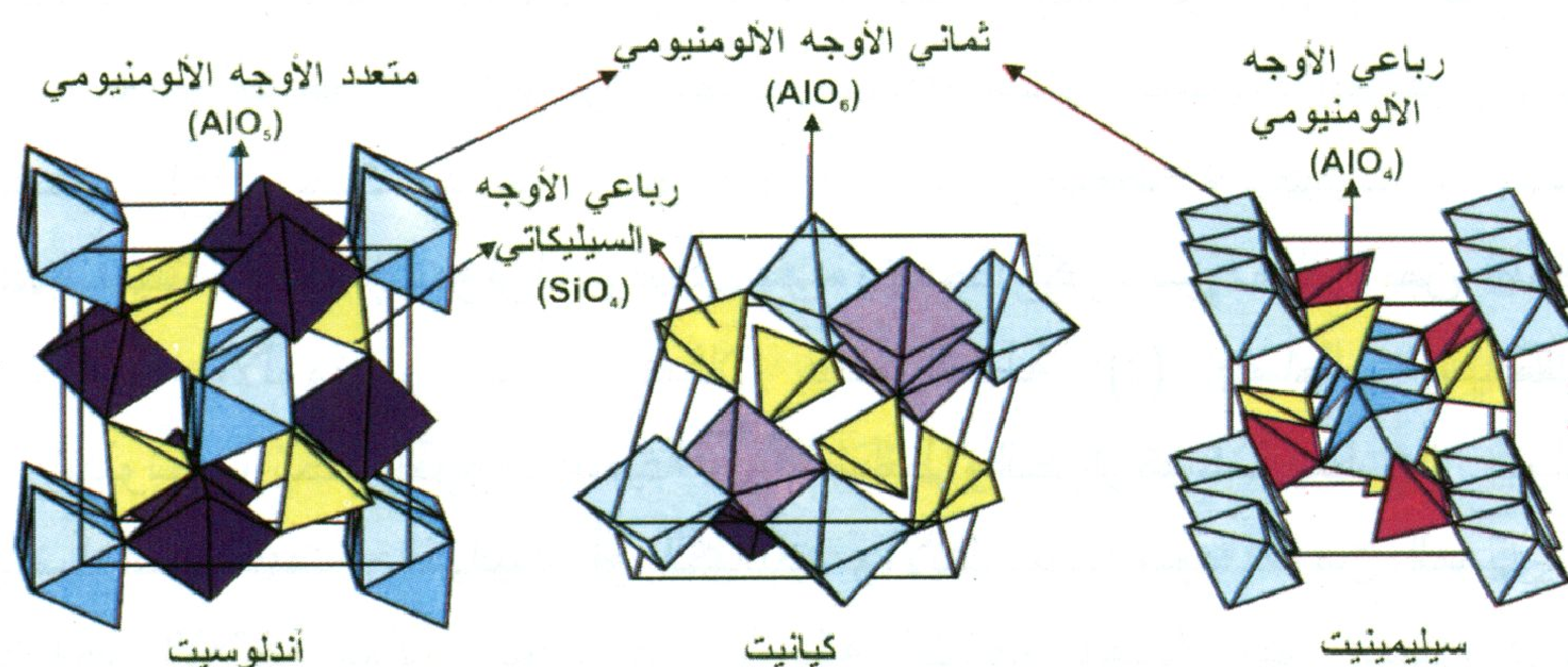
شكل ٢-١١ : مخطط الضغط والحرارة لمعادن سيليكات الألومنيوم Al_2SiO_5 (وينتر Winter ٢٠٠١).

يوضح شكل (٢-١١) ظروف الضغط والحرارة لتكوين معادن سيليكات الألومنيوم وأيضاً الظروف التى يتحول عندها المعدن من صنف إلى أخر. فمثلاً عند درجة حرارة =٥٠٠°م وضغط=٨ كيلوبار (النقطة أ)، يصبح الكيانيت هو المعدن المستقر. بينما عند النقطة (ب) حيث درجة الحرارة= ٦٠٠°م والضغط=١ كيلوبار، يصبح الأندلوسيت الصنف المستقر. وعند النقطة (ج) حيث درجة الحرارة=٧٠٠°م وضغط=٥ كيلوبار، يصبح السيليمنيت أكثر إستقراراً. ويمكن أن يتواجد أكثر من معدن من معادن سيليكات الألومنيوم سوياً، فمثلاً عند النقطة (د) يتواجد السيليمنيت والأندلوسيت تحت ظروف معينة من الضغط والحرارة، كما يمكن أن يتواجد أيضاً السيليمنيت والكيانيت أو الكيانيت والأندلوسيت سوياً. ومن الممكن أن يتواجد الثلاث معادن سوياً عند النقطة الثلاثية (هـ) حيث تصل درجة الحرارة حوالي ٦٢٠°م ويصل الضغط إلى حوالي ٥ كيلوبار. كما تصبح معادن سيليكات الألومنيوم غير مستقرة عند درجات حرارة أقل من ٣٠٠°م.

البنية البلورية Crystal structure

تتكون البنية البلورية لمعادن سيليكات الألومنيوم من سلاسل من ثمانى الأوجه الألومنيومى مرتبطة ببعضها من خلال حوافها Edge-sharing ومتصلة جانبياً عن طريق أيونات السيليكون والألومنيوم. تختلف البنية البلورية من معدن إلى أخر فى عدد تناسق ذرات الألومنيوم والشكل الهندسي للسلسلة وكيفية إتصال السلاسل بعضها ببعض. فى حالة الأندلوسيت، تتكون البنية البلورية من سلاسل Chains لثمانى الأوجه الألومنيومى ذو تناسق سداسى (AlO_6) موازية للمحور البلورى "c"، تتصل هذه السلاسل ببعضها عن طريق رباعى الأوجه السيليكاتى (SiO_4) ومتعدد الأوجه (AlO_5) (رباعى أوجه مشوه به ألومنيوم ذو تناسق خماسي) (شكل ٢-١٢). فى حالة الكيانيت، تتكون البنية البلورية من سلاسل ثمانى الأوجه الألومنيومى (AlO_6) متصلة ببعضها البعض عن طريق وحدات إضافية من ثمانى الأوجه الألومنيومى (AlO_6) ووحدات رباعي الأوجه السيليكاتى (SiO_4). وفى حالة

السيليمينيت، تتكون البنية البلورية من سلاسل لثماني الأوجه الألومنيومى (AlO_6) موازية للمحور البلورى (c) ومرتبطة ببعضها البعض عن طريق رباعى الأوجه السيليكاتى (SiO_4) ورباعى الأوجه الألومنيومى (AlO_4).



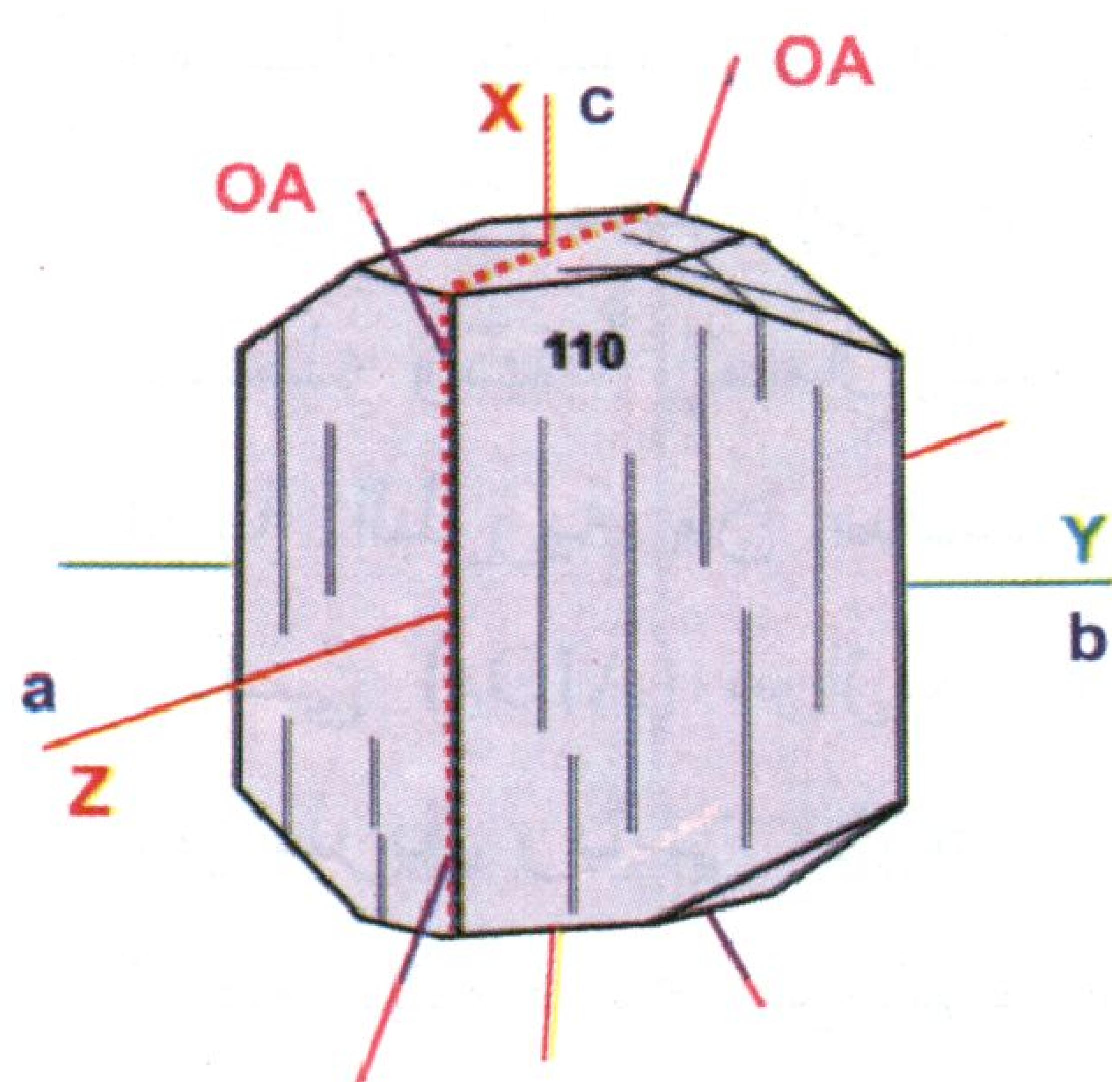
شكل ٢-١٢: البنية البلورية لمعادن سيليكات الألومنيوم.

الأندلوسيت Andalusite


Al_2SiO_5

أُشتق الاسم من إحدى المقاطعات الأسبانية وتسمى أندلوسيا *Andalusia*.

الصفات البلورية Crystal characteristics



شكل ٢-١٣: العلاقة بين المحاور البلورية a, b, c ومحاور مجسم معامل الإنكسار X, Y, Z فى بلورة لمعدن الأندلوسيت، كما يظهر فى الشكل إتجاه المحورين البصريين OA.

يتبلور المعدن بفصيلة المعينى القائم، أبعاد خلية الوحدة: أ= ٧,٧٨، ب= ٧,٩٢، ج= ٥,٥٧ أنجستروم (شكل ٢-١٣)، مقدار ماتمتلكه خلية الوحدة من الذرات (Z)=٤، مجموعة النقطة: 2/m2/m2/m والمجموعة الفراغية: $p2_1/n2_1/n2/m$. يتواجد المعدن على هيئة بلورات منشورية ذات مقطع عرضي مربع ومنتهية بمسطوح. توجد أيضاً

البلورات على شكل كتلي وحبيبي. يتكون المعدن من سيليكات الألومنيوم النقية مع وجود كميات بسيطة من المنجنيز والحديد والكروميوم والتيتانيوم (جدول ٢-٤).

جدول ٢-٤: التحليل الكيميائي لمعادن سيليكات الألومنيوم من مناطق مختلفة.

	١	٢	٣	٤
SiO_2	٣٦,٧٨	٣٦,٧٩	٣٦,٦٨	٣٦,٥١
TiO_2	٠,٠٣	٠,٠٣	٠,٠٠	٠,١٨
Al_2O_3	٦٢,٨٦	٦٣,٠٦	٦٢,٦٤	٦٢,٢٦
Fe_2O_3	٠,١٧	٠,٨٠	٠,١٧	٠,٩٦
MnO	٠,٠١	٠,٠٢	٠,٠٢	٠,١٠
MgO	٠,٠٢	٠,٠١	٠,٠٠	٠,٠٩
Na_2O	٠,٠١	٠,٠٠	٠,٠١	٠,٠٠
K_2O	٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠١	٠,٠٠
المجموع	٩٩,٨٨	١٠٠,٦٥	٩٩,٥٣	١٠٠,١٠
		٢٠ ذرة أكسجين		
Si	٣,٩٧٨	٣,٩٥٤	٣,٩٨١	٣,٩٥٤
Ti	٠,٠٠٠	٠,٠٠٢	٠,٠٠٠	٠,٠١٥
Al	٨,٠١٥	٧,٩٨٢	٨,٠١٤	٧,٩٤٠
Fe^{3+}	٠,٠١٤	٠,٠٦٥	٠,٠١٣	٠,٠٧٨
Mn	٠,٠٠٠	٠,٠٠٢	٠,٠٠٢	٠,٠٠٩
Mg	٠,٠٠٢	٠,٠٠٢	٠,٠٠٠	٠,٠١٥
Na	٠,٠٠٢	٠,٠٠٠	٠,٠٠٢	٠,٠٠٠
K	٠,٠٠١	٠,٠٠٠	٠,٠٠٢	٠,٠٠

١= أندلوسيت من منطقة مازارون باسبانيا (سيسار وأخرون ٢٠٠٢ .Cesare et al).

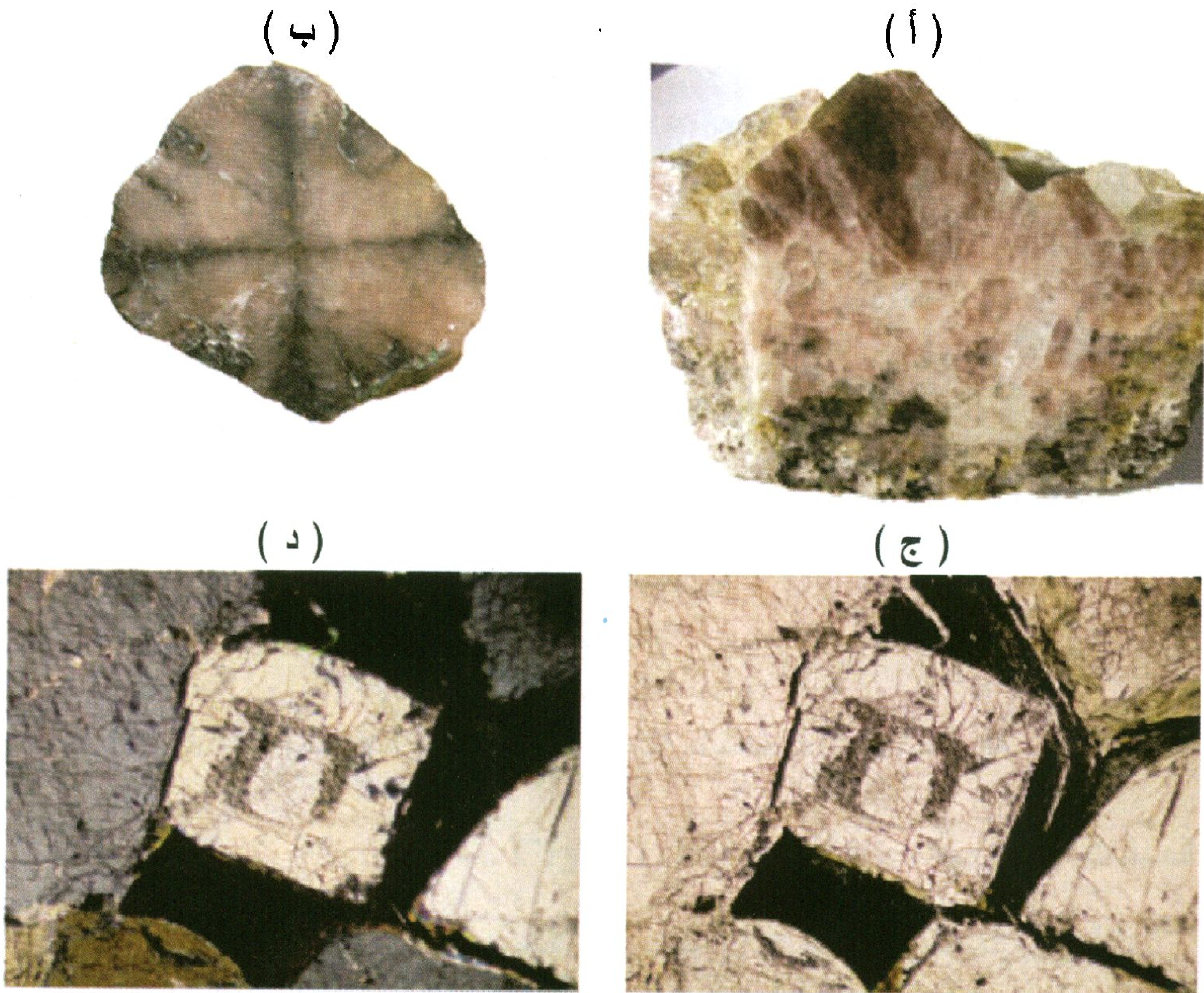
٢= كيانيت من منطقة سيفريهيسار Sivrihisar بتركيا (وايتني ٢٠٠٢ Whitney).

٣= سيليمنيت من منطقة مازارون باسبانيا (سيسار وأخرون ٢٠٠٢ .Cesare et al).

٤= سيليمنيت من منطقة سيفريهيسار Sivrihisar بتركيا (وايتني ٢٠٠٢ Whitney).

الصفات الفيزيائية والبصرية Physical and optical characteristics

المعدن أبيض اللون أو أحمر أو بني أو برتقالي أو أخضر (شكل ٢-١٤). البريق زجاجي والمخدش أبيض. البلورات شفافة إلى نصف شفافة. الصلادة = ٧,٥ والوزن النوعى حوالي ٣,١٥. الإنفصام جيد فى إتجاهين بينهما زاوية ٩٠° تقريباً. تحت الميكرسكوب، يظهر المعدن عديم اللون



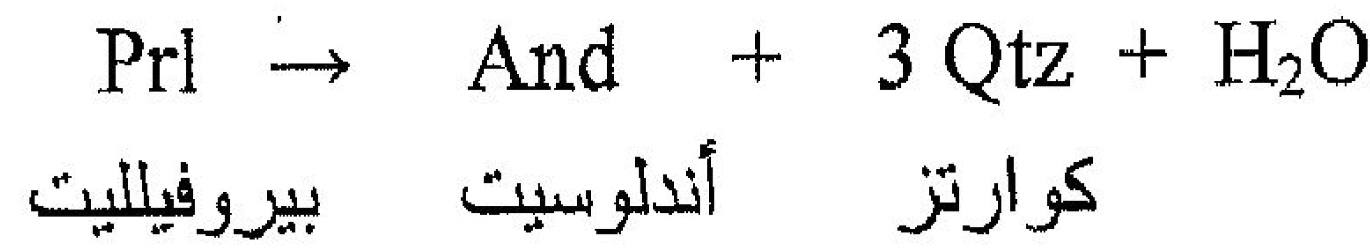
شكل ٢-١٤: (أ) أندلوسيت محمر اللون بعرق كوارتز بمنطقة حمادان، إيران (سباهي وأخرون ٢٠٠٤ Sepahi et al.). (ب) كياستوليت Chiastolite (نوع من الأندلوسيت) يحتوى على شوائب كربونية سوداء اللون مرتبة على هيئة صليب. (ج) أندلوسيت تحت الضوء المستقطب يحتوى على مكتنفات من معادن معتمة. (د) أندلوسيت بالصورة "ج" تحت منشوري نيكول (http://www.geo.umn.edu/orgs/whitney/ andalusite.htm)

ونادراً باللون الوردي. كما يُظهر المعدن تغير لوني ضعيف. التضاريس متوسطة إلى عالية موجبة. التوأمية نادرة. المعدن ثنائى المحور سالب وتبلغ معاملات الإنكسار ألفا (α)= ١,٦٣٢ وبيتا (β)=١,٦٤٠ وجاما (γ)= ١,٦٤٢.

قرينة الإنكسار المزدوج (δ)= ٠,٠٠٩ -٠,٠١٣ والزاوية البصرية ($2V$) = ٧١-٨٨°.

التواجدات والصحبة المعدنية Occurrences and mineral association

يتواجد الأندلوسيت بالصخور الطينية التى تعرضت للتحول التلامسي من جراء تداخل أجسام نارية. يتكون الأندلوسيت من تحول البيروفيليت عند درجة حرارة حوالى ٤٠٠ درجة مئوية وضغط أكبر من ٢,٧ كيلوبار حسب التفاعل التالي:

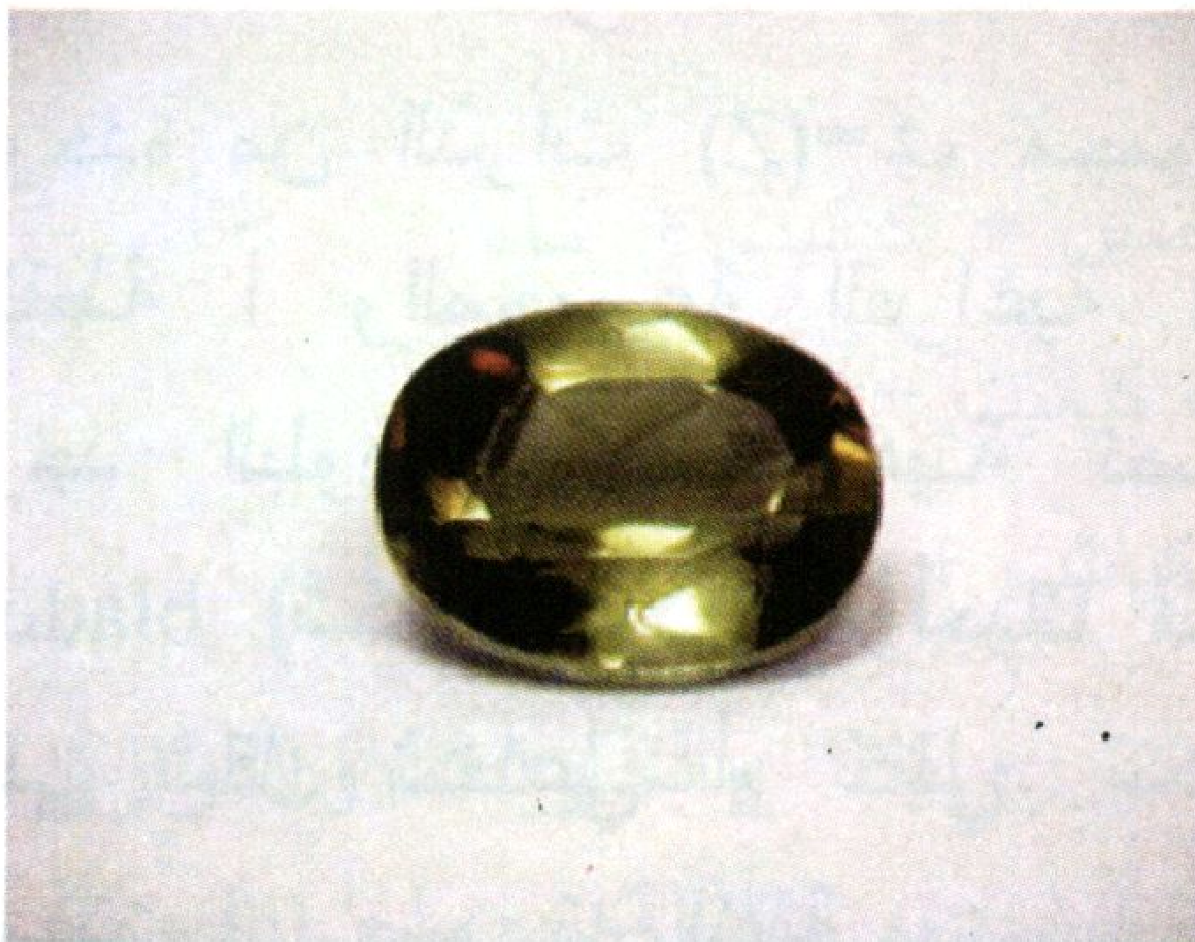


$$Prl \rightarrow And + 3\,Qtz + H_2O$$

بيروفيلليت أندلوسيت كوارتز

من أشهر أماكن تواجده: جزيرة أندلوسيا بأسبانيا وفي النمسا والبرازيل وفى العديد من الأماكن بالولايات المتحدة الإمريكية مثل كاليفورنيا وبنسيلفانيا. توجد بلورات الكياستوليت الواضحة (شكل ٢-١٤ب) بجنوب أستراليا. تُنتج جنوب أفريقيا ما يزيد عن ٥٠ مليون طن من سيليكات الألومنيوم ويمثل ذلك ٤٠% من إحتياطيات العالم من تلك المعادن. يوجد الأندلوسيت بصخور البيجماتيت بمنطقة اداواديم Adawadim وصخور الهورنفلس بمنطقة وادى مربط Wadi Marbat بالمملكة العربية السعودية.

(ب) (أ)





شكل ٢-١٥: (أ) حجر كريم من الأندلوسيت (٦x٨ مم) مستخرج من الهند. تُظهر العينة عرضاً للألوان من البرتقالي إلى الأخضر حسب الإضاءة وتوجيه العينة. (ب) حجر كريم من الأندلوسيت (٨x١٠ مم) المستخرج من البرازيل. تُظهر العينة عرضاً للألوان من البرتقالي المحمر إلى الأخضر حسب الإضاءة وتوجيه العينة (mineralminers.com).

الاستخدامات Uses

يستعمل الأندلوسيت فى صناعة الطوب الحرارى. كما تستعمل العينات الجيدة منه كأحجار كريمة (شكل ٢-١٥).

الكيانيت Kyanite

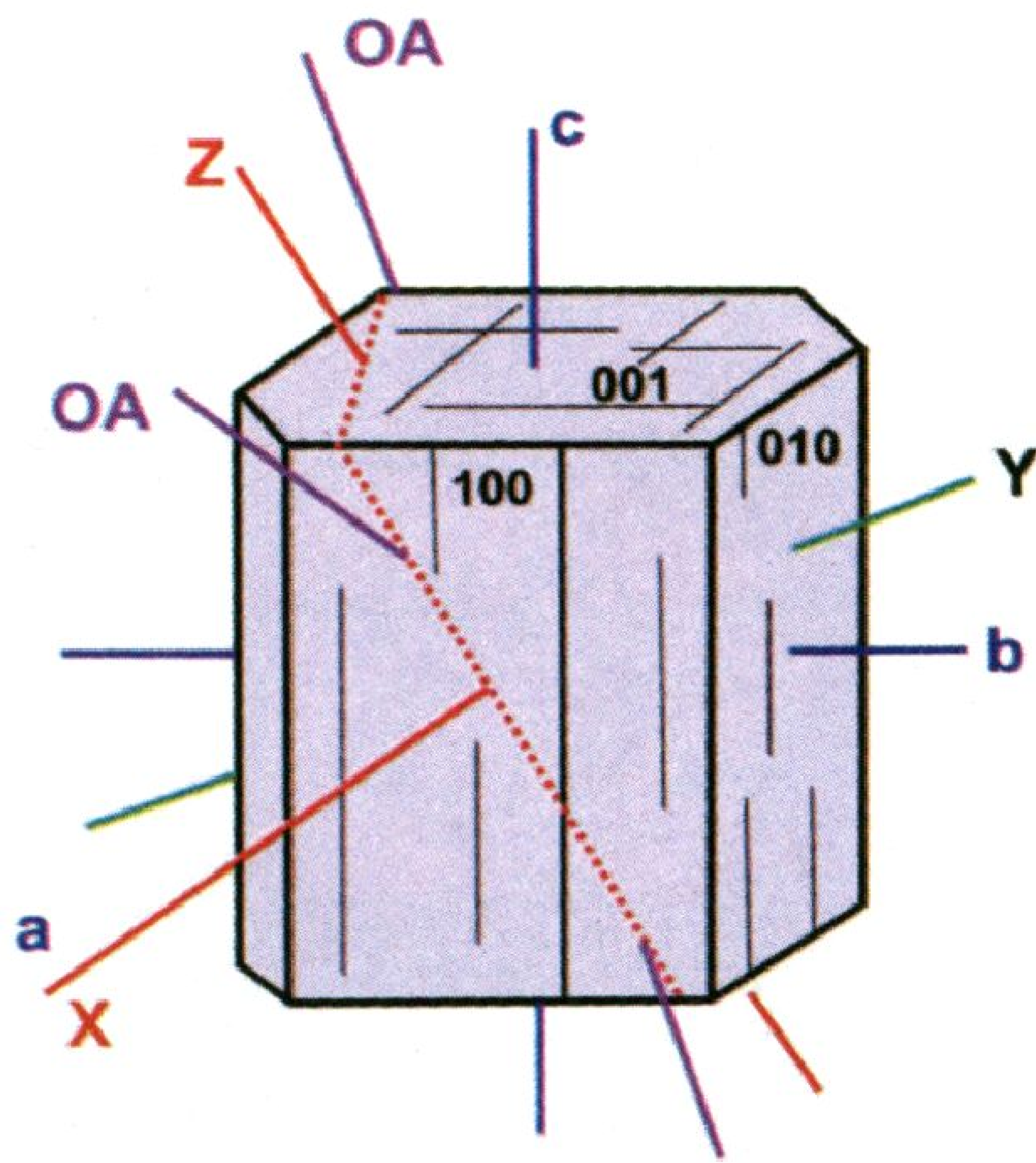


Al_2SiO_5

يأتى اسم الكيانيت من الكلمة الإغريقية *Kyanos* والتى تعنى أزرق اللون. يعتبر الكيانيت من المعادن الجذابة وذلك لتشابه لونه مع لون الياقوت الأزرق. كما أن للمعدن صفة مميزة عن المعادن الأخرى وهى الصلادة المتغيرة بالبلورة الواحدة.

الصفات البلورية Crystal characteristics

يتبلور المعدن بفصيلة الميول الثلاثة. أبعاد خلية الوحدة: أ= ٧,١٠، ب= ٧,٧٤، ج= ٥,٥٧ أنجستروم (شكل ٢-١٦). وتبلغ الزوايا بين المحورية ألفا (α)= ٩٠,٠٨° وبيتا (β)= ١٠١,٠٣° وجاما (γ)= ١٠٥,٧٣°. مقدار ما تمتلكه خلية الوحدة من الذرات (Z)=٤، مجموعة النقطة $\bar{1}$ والمجموعة الفراغية $P\bar{1}$. توجد البلورات على هيئة نصلية bladed (شكل ٢-١٧أ) وأحياناً فتات على شكل شعاعي أو كتلي. يتكون المعدن فى صورته النقية من سيليكات الألومنيوم، وفى بعض الأحيان يوجد الحديد والمنجنيز والكروميوم بكميات بسيطة (جدول ٢-٤).



شكل ٢-١٦: العلاقة بين المحاور البلورية a, b, c ومحاور مجسم معامل الإنكسار X, Y, Z فى بلورة لمعدن الكيانيت. كما يظهر فى الشكل إتجاه المحورين البصريين OA.

الصفات الفيزيائية والبصرية Physical and optical characteristics

يتخذ المعدن عادةً لوناً أزرقاً (شكل ٢-١٧) وأحياناً أبيض أو رمادي أو أخضر. البريق زجاجي إلى لؤلؤي والمخدش أبيض. البلورات شفافة إلى نصف شفافة. تتراوح الصلادة بين ٤,٥ عند خدشه موازياً لأطول محور بلوري وحوالي ٦,٥ عند خدشه عمودياً على نفس المحور. الإنفصام كامل في المستوى {100} وجيد في المستوى {010}. الوزن النوعي حوالي ٣,٥٨. تحت الميكرسكوب، المعدن عديم اللون أو أزرق شاحب ولا يُظهر تغير لوني. التضاريس عالية موجبة. التوأميه نادرة. المعدن ثنائى المحور سالب وتبلغ معاملات الإنكسار ألفا (α)= ١,٧١٢ وبيتا (β)= ١,٧٠٢ وجاما (γ)= ١,٧٢٨. قرينة الإنكسار المزدوج (δ)= ٠,٠١٢- ٠,٠١٦ والزاوية البصرية ($2V$) = ٧٨- ٨٤°.

التواجدات والصحبة المعدنية Occurrences and mineral association

يعتبر الكيانيت من المعادن المتحولة الأساسية والتي توجد بالصخور ذات التحول الأقليمى متوسط وعالى الضغط، مثل صخور الميتابيليت ونادراً بالميتابساميت. كما يتواجد بصخور الإكلوجيت والأمفيبوليت الكيانيتي حيث ينشأ الكيانيت بعد الستوروليت وقبل السيليمنيت عند درجة حرارة ٦٧٠ – ٦٨٠ درجة مئوية على حساب الستوروليت والكلوريت:


ستوروليت + كوارتز ↔ ألماندين + كيانيت + ماء


كلوريت + ستوروليت ↔ كيانيت + جارنت

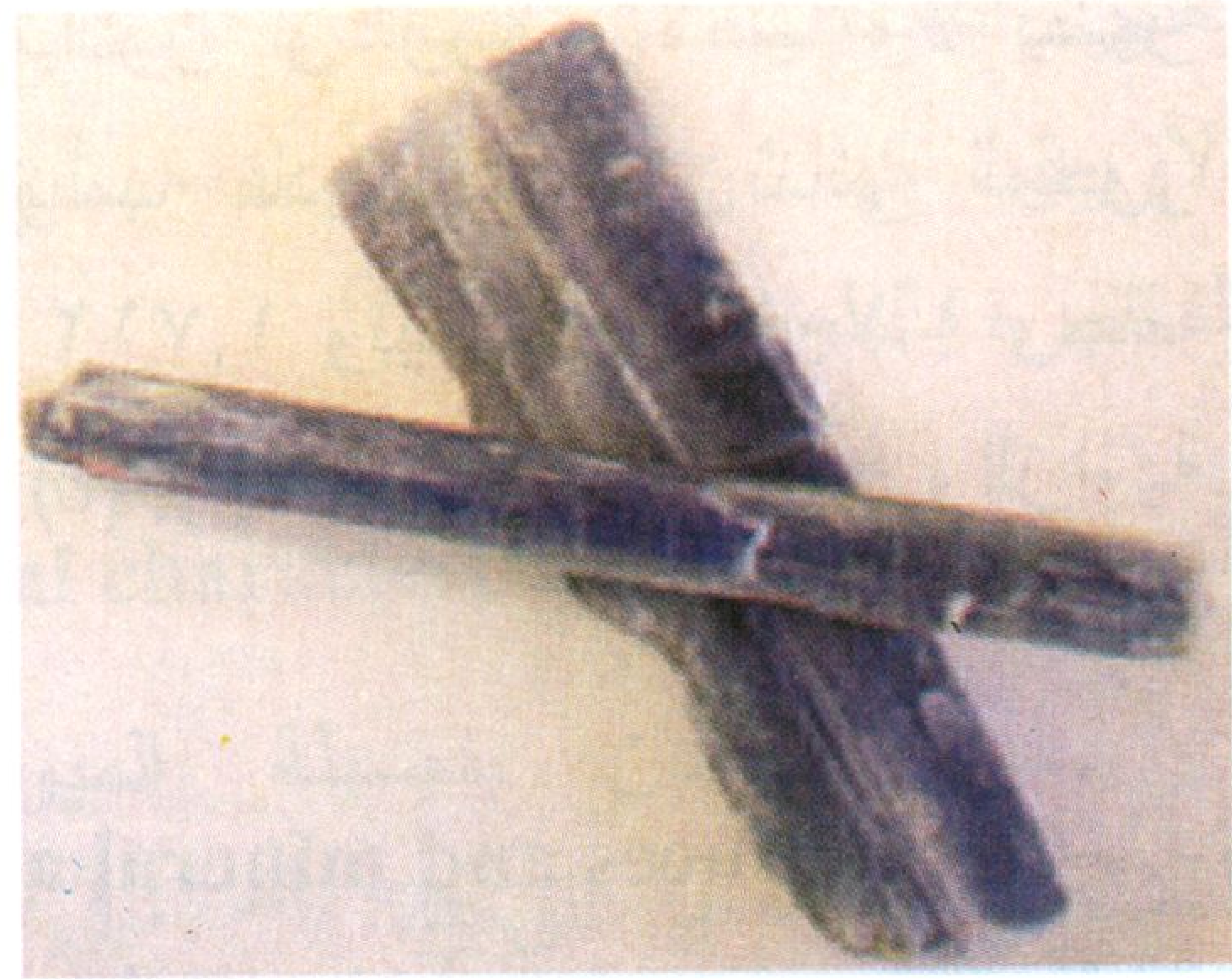

كلوريت + جارنت ↔ كيانيت + بيوتيت

من المعادن المصاحبة: البيوتيت والستوروليت والجارنت والكوارتز والأندلوسيت والسيليمنيت. ومن أهم أماكن تواجده: منطقة تيرول Tyyrol بالنمسا حيث تأتى العينات المتميزة، وأيضاً من سويسرا وفرنسا. وتوجد رواسب إقتصادية بالهند وكينيا والولايات المتحدة الأمريكية. كما يوجد

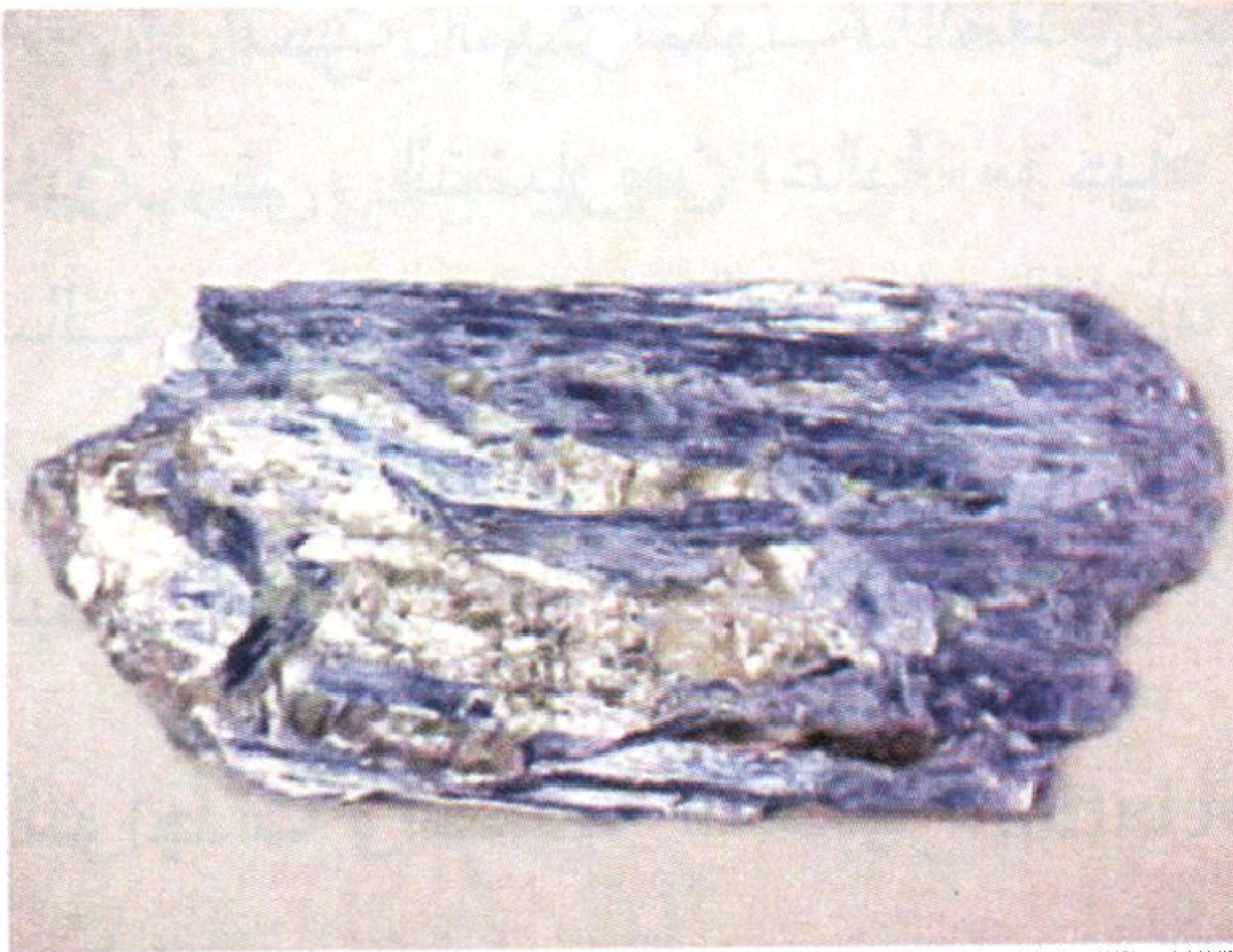
الكيانيت بالمملكة العربية السعودية فى العديد من المناطق أهمها: جبل كرش Jabal Kirsh وجبل الرقبة Jibal ar Ragabah وجبل ماهاديب Jabal Mahadib ووادي الأرج Wadi al Arj وجبل شدا Jabal shda ووادى مربط وبئر أبا القزاز.

الاستخدامات Uses: تستخدم الأنواع ذات اللون الأزرق الصافي كحجر كريم، وليس له استخدام غير ذلك.

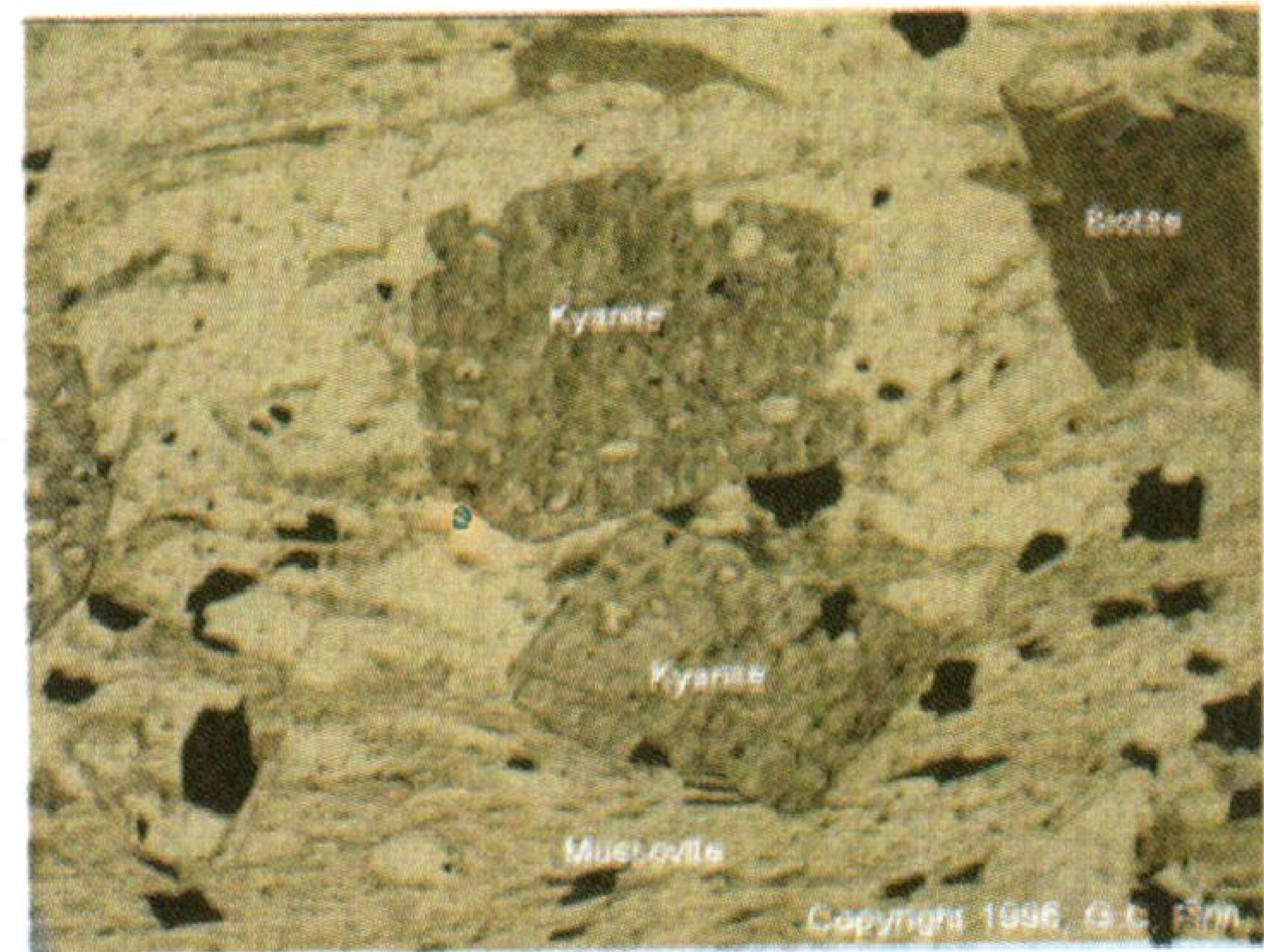
(أ)



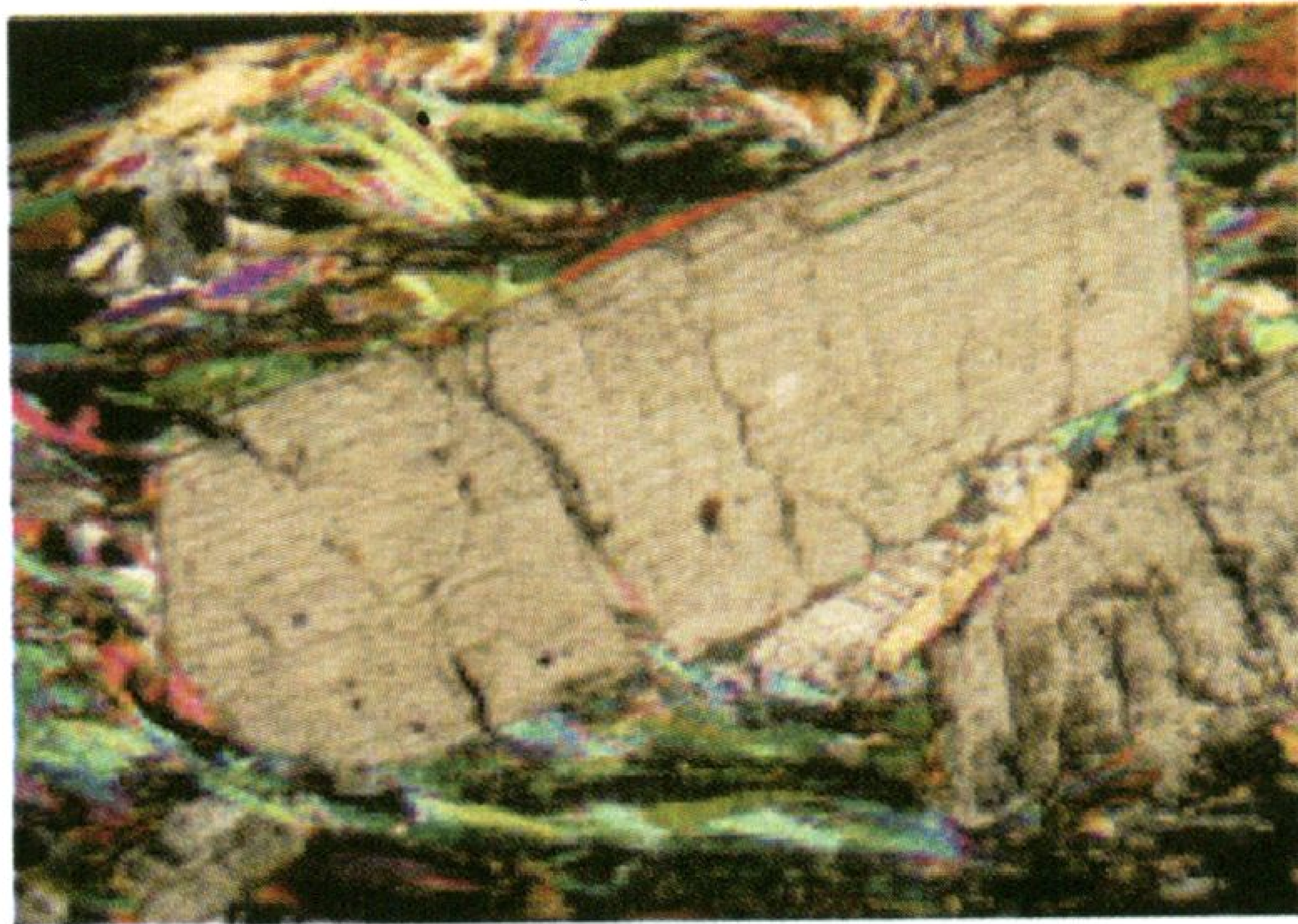
(ب)



(ج)



(د)



شكل ٢-١٧: (أ) بلورات على هيئة نصلية من الكيانيت. (ب) بلورات زرقاء اللون للكيانيت مع مسكوفيت فضي اللون. (ج) صورة ميكروسكوبية تحت الضوء المستقطب لإثنين من البيرفيروبلاست للكيانيت مع صحبة من البيوتيت والمسكوفيت بصخور الميتابيليت من مقاطعة جرينفيل Grenville Province، لاحظ الهيئة كاملة الأوجه والتضاريس العالية والإنفصام بالبيرفيروبلاست السفلى. (د) صورة ميكروسكوبية للكيانيت تحت منشوري نيكول بصخور الشيست المسكوفيتي من منطقة سوليتيود رينج Solitude Range (ويتني وجينت ١٩٩٣ Whitney and Ghent).

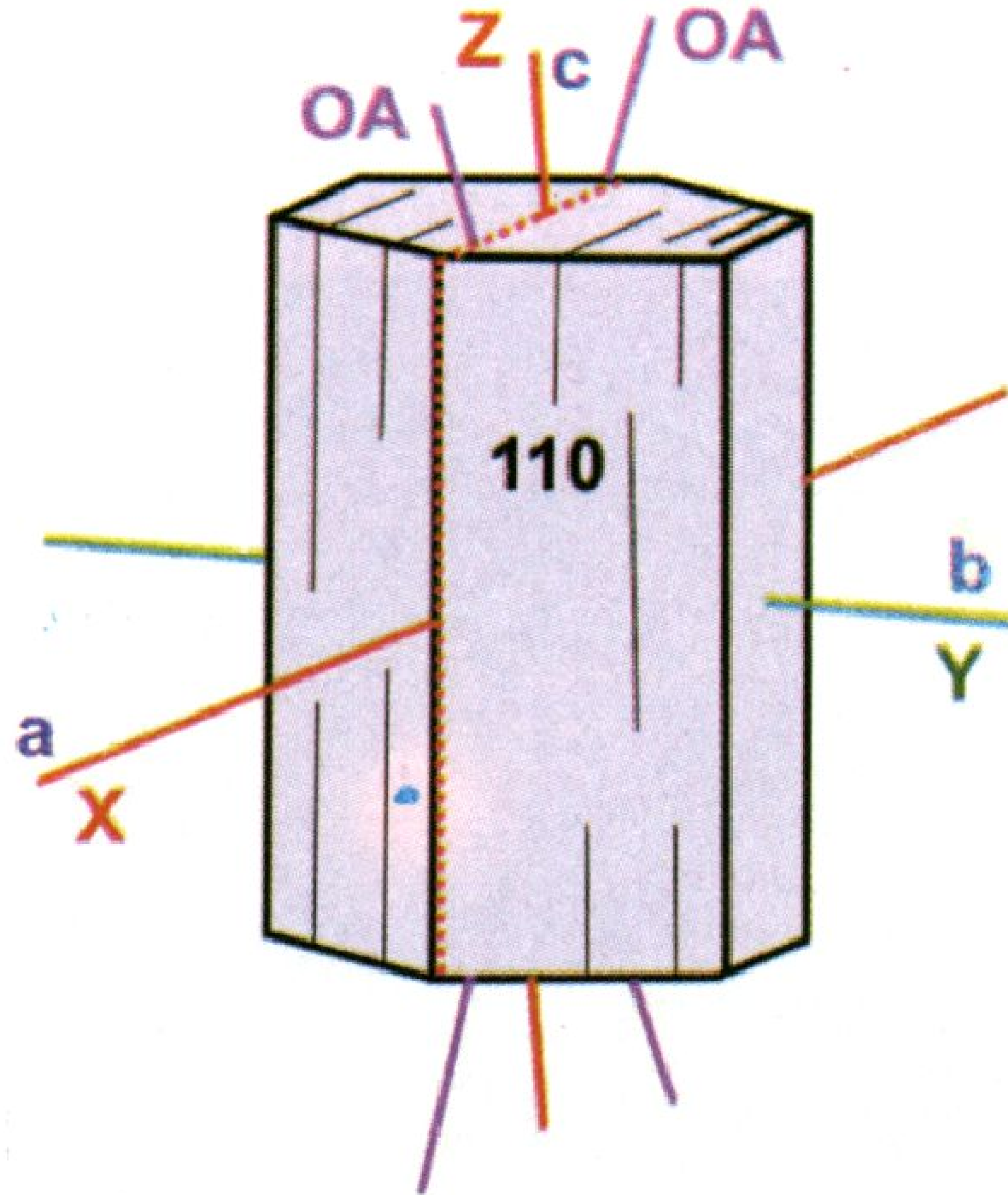
السيليمنيت Silliminite



Al_2SiO_5

أُطلق هذا الاسم على المعدن تكريماً لأحد العلماء وهو بنيامين سيليمان Benjamin Silliman وكان أستاذ كيمياء بجامعة يال Yale University.

الصفات البلورية Crystal characteristics



شكل ٢-١٨: العلاقة بين المحاور البلورية a, b, c ومحاور مجسم معامل الإنكسار X, Y, Z في بلورة لمعدن السيليمنيت كما يظهر في الشكل إتجاه المحوريين البصريين OA.

يتبلور المعدن بفصيلة المعينى القائم وتبلغ أبعاد خلية الوحدة: أ= ٧,٤٤، ب= ٧,٦٠، ج= ٥,٧٥ أنجستروم (شكل ٢-١٨)، مقدار ما تمتلكه خلية الوحدة من الذرات (Z)=٤، مجموعة النقطة 2/m2/m2/m والمجموعة الفراغية: $P2_1/b2/m2/m$. توجد أحياناً البلورات على هيئة كتل ليفية ويسمى في هذه الحالة بالفيبروليت Fibrolite. كما توجد البلورات على هيئة منشورية أو إبرية أو فتاتية. يتكون المعدن في صورته النقية من سيليكات الألومنيوم ولكن أحياناً توجد كميات بسيطة من الحديد والمنجنيز والماغنيسيوم (جدول ٢-٤).

الصفات الفيزيائية والبصرية Physical and optical characteristics

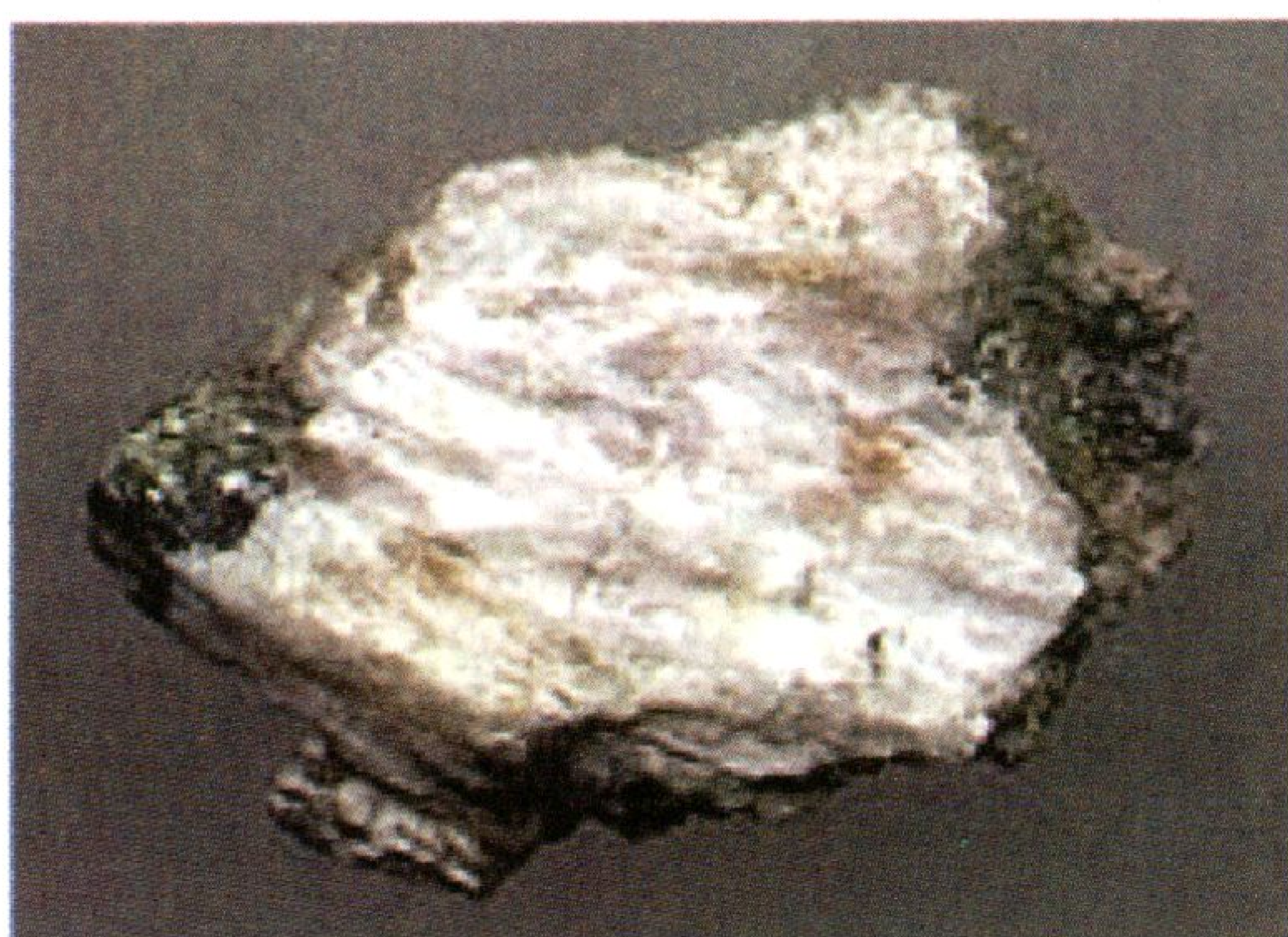
اللون أبيض أو بني أو أخضر (شكل ٢-١٩). البريق حريري فى الهيئة الليفية أو زجاجي بالهيئات الأخرى. المخدش أبيض والمعدن شفاف إلى نصف شفاف. تصل الصلادة إلى ٧,٥ فى البلورات الكبيرة ولكن تقل في البلورات الليفية. الإنفصام جيد فى إتجاه واحد {010} ولكن يندر رؤيته. المكسر غير مستوى. يبلغ الوزن النوعى ٣,٢. تحت الميكرسكوب، المعدن عديم اللون ومن الممكن أن يكون بني باهت بأنواع الفيبروليت ولا يُظهر

المعدن تغير لوني. التضاريس عالية موجبة. المعدن ثنائى المحور موجب، وتبلغ معاملات الإنكسار ألفا (α)= ١,٦٥٨ وبيتا (β)= ١,٦٦٢ وجاما (γ)= ١,٦٨٠. قرينة الإنكسار المزدوج (δ)= ٠,٠٢٢ والزاوية البصرية ($2V$) = ٢٠°- ٣٠°.

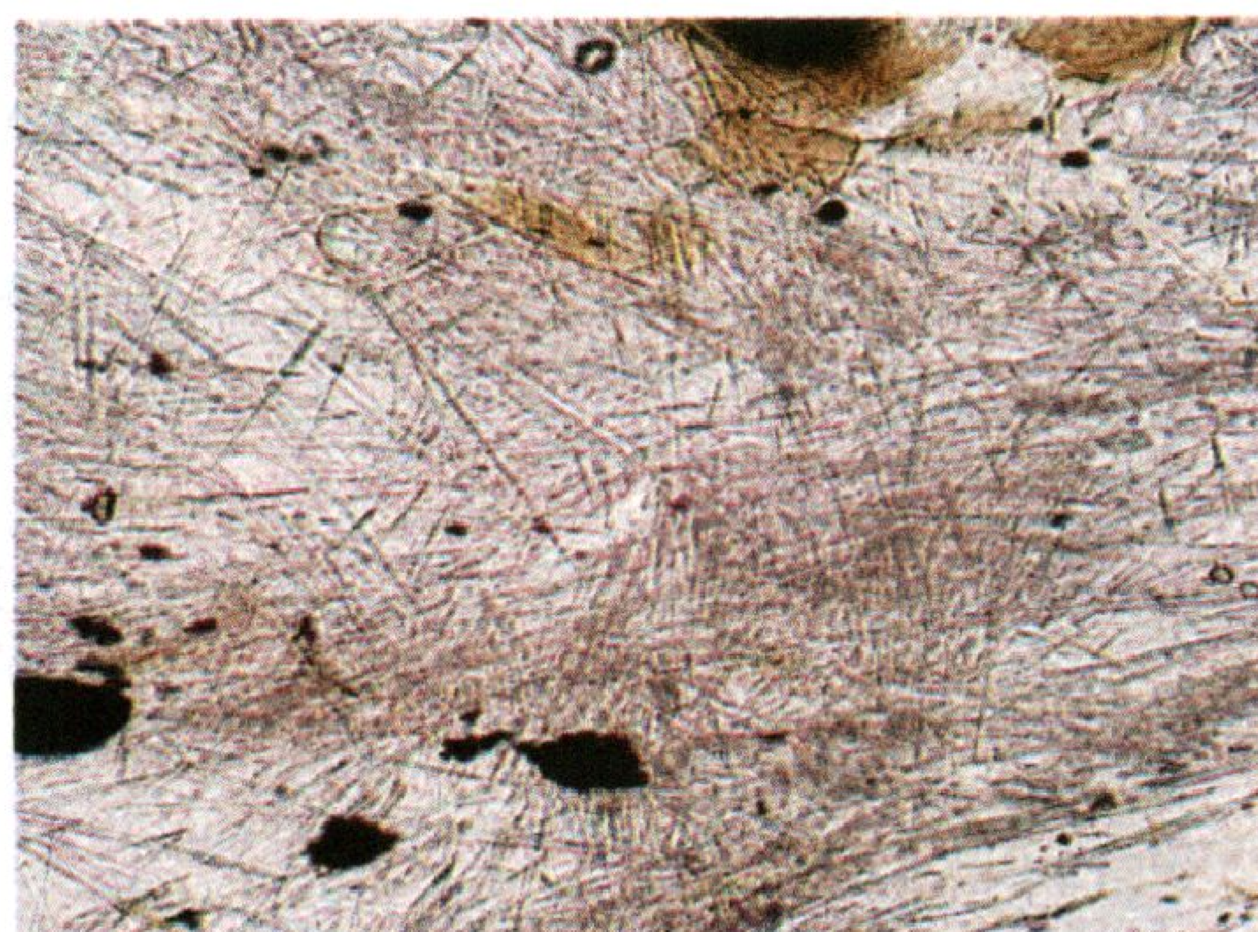
(أ)



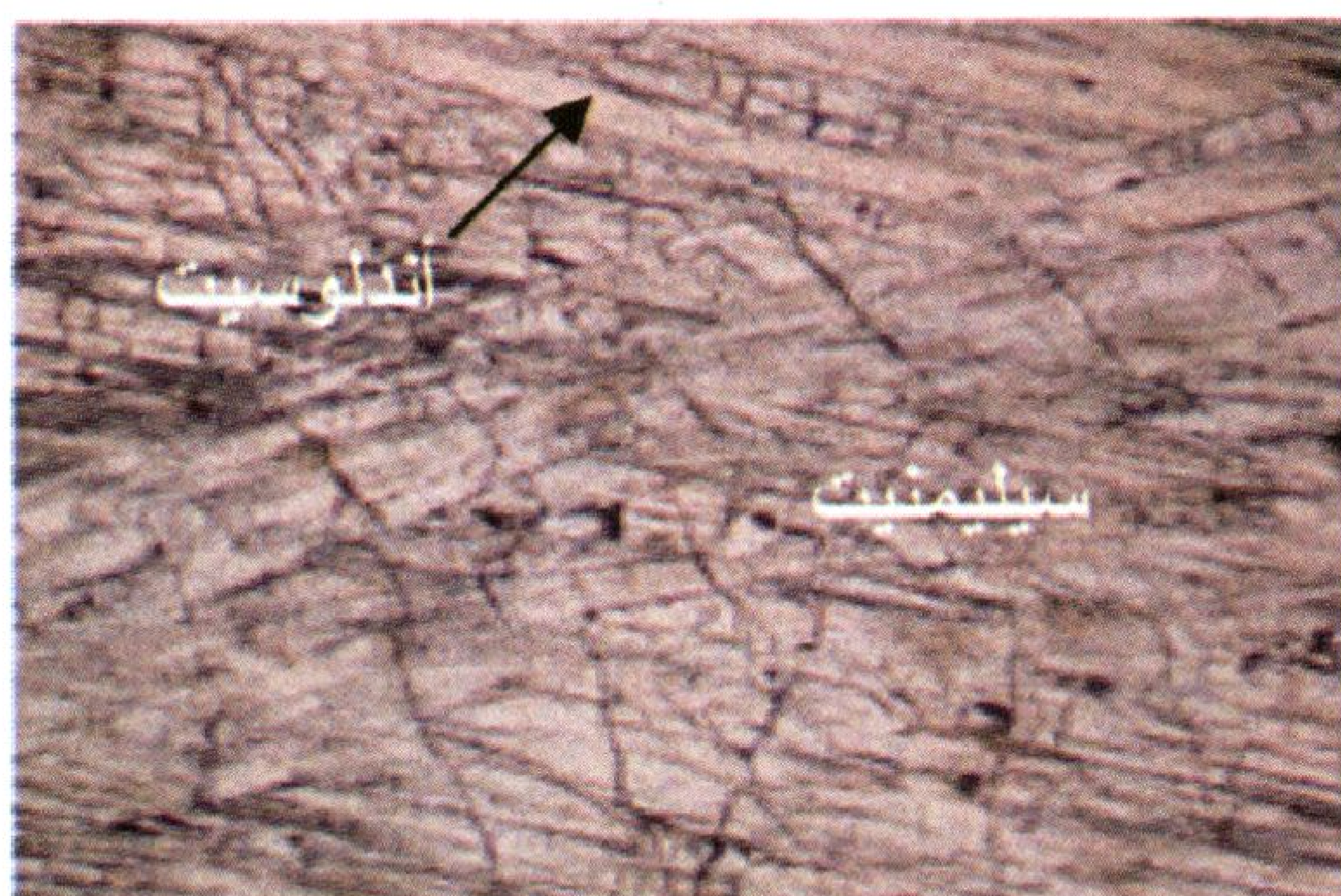
(ب)



(ج)



(د)

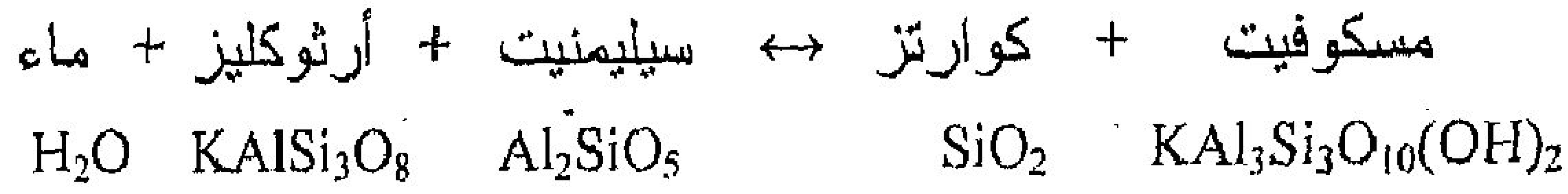


شكل ٢-١٩: (أ) سيليمنيت بني اللون. (ب) سيليمنيت أبيض اللون. (ج) سيليمنيت على هيئة ليفية (فيبروليت) بالضوء المستقطب (x٢٠٠). (د) صورة ميكروسكوبية بالضوء المستقطب لبلورات منشورية من السيليمنيت في نمو مشترك مع الأندلوسيت من منطقة حمادان، إيران (سياهي وأخرون ٢٠٠٤).

التواجدات والصحبة المعدنية Occurrences and mineral association

يمثل السيليمنيت الصنف عالي الحرارة بمجموعة سيليكات الألومنيوم ويتواجد بصخور الشيست والنيس ذات التحول الحراري العالي. ينتج غالبية

السيليمنيت عن تكسير Breakdown للمسكوفيت والبيوتيت عند درجة حرارة حوالي ٧٢٠ درجة مئوية (نطاق السيليمنيت، سحنة الأمفيبوليت العليا) حيث تتكون الصحبة المعدنية : أرثوكليز وسيليمنيت وكوارتز:



مسكوفيت + كوارتز ↔ سيليمنيت + أرثوكليز + ماء

$KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2$ SiO_2 Al_2SiO_5 $KAlSi_3O_8$ H_2O

كما يصاحب المعدن الجارنت والكورديريت والسبينيل والهيبرثين والبيوتيت. ومن أشهر أماكن تواجده: البرازيل والنمسا وألمانيا والولايات المتحدة الأمريكية.

الاستخدامات Uses

يستخدم السيليمنيت فى صناعة البوتقات التى تتحمل درجات الحرارة العالية. كما تستخدم بعض الأنواع النقية منه فى صناعة المجوهرات. بشكل عام، عند تسخين معادن سيليكات الألومنيوم فأنها تتحول مع درجات العالية إلى معدن مولليت Mullite وكوارتز. يستخدم المولليت فى الصناعات الحرارية. يعتبر السيليمنيت أقل معادن سيليكات الألومنيوم لإنتاج المولليت، ويستخدم الكيانيت أو الأندلوسيت لهذا الغرض حسب فرصة توفرهما كخامات.

الزركون Zircon

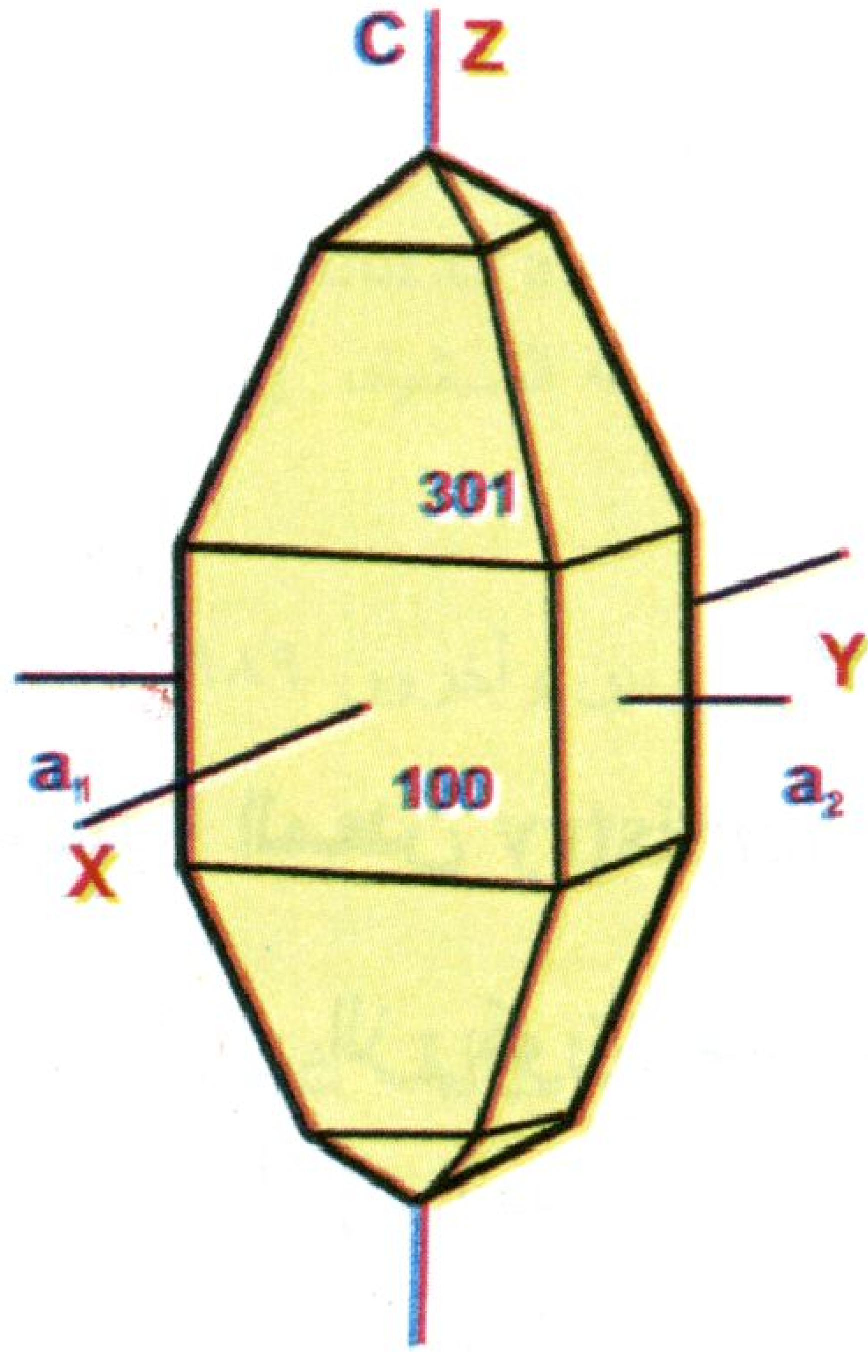


$ZrSiO_4$

يأتى اسم المعدن من الكلمة الفارسية *Zargun* والتى تعني " اللون الذهبى".

البنية البلورية Crystal structure

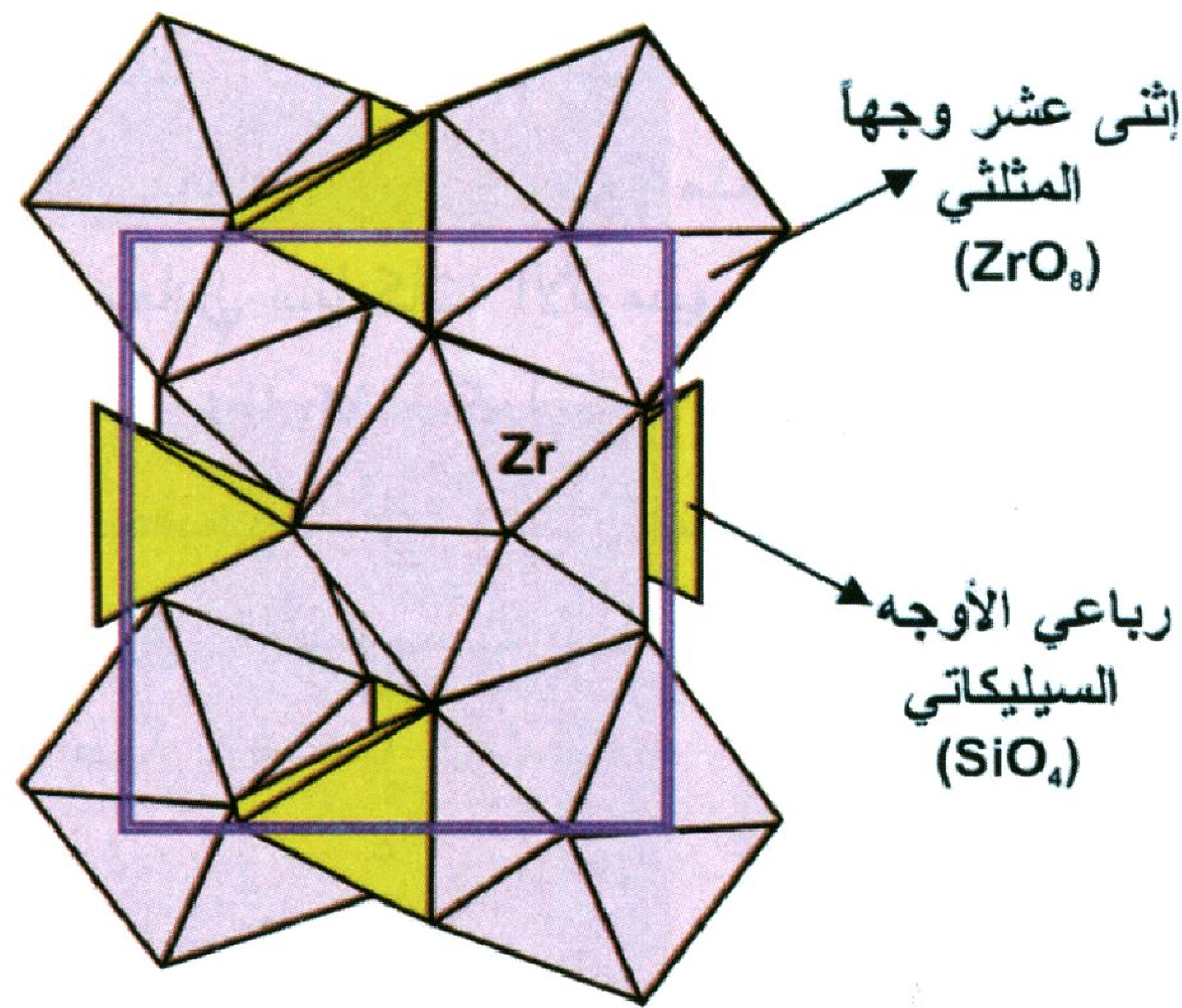
يتبلور الزركون فى فصيلة الرباعى. أبعاد خلية الوحدة: أ= ٦,٦، ج=٥,٩٨ أنجستروم. مقدار ماتمتلكه خلية الوحدة



شكل ٢-٢٠: العلاقة بين المحاور البلورية a_1, a_2, c ومحاور مجسم معامل الإنكسار X, Y, Z فى بلورة لمعدن الزركون.

من الذرات (Z)=٤، مجموعة النقطة 4/m2/m2/m والمجموعة الفراغية $I4_1/a2/m2/d$. تتواجد البلورات على شكل منشور رباعي أو أهرامات رباعية منعكسة أو كلاهما معاً (شكل ٢-٢٠). كما يمكن أن تتواجد بلورات الزركون على شكل حبيبات مستديرة.

تتكون البنية البلورية للزركون من سلاسل لوحدات رباعى الأوجه السيليكاتى SiO_4 تشارك من خلال حوافها أو أركانها وحدات أخرى من الإثنى عشر وجهاً المثلثي Triangular dodecahedra والتي تشغلها ذرات الزركون (ZrO_8). تمتد هذه السلاسل موازية للمحور البلوري "c" مما تعكس الهيئة المنشورية للزركون.



شكل ٢-٢١: البنية البلورية للزركون.

كيميائية المعدن Mineral chemistry

يتكون الزركون عادةً فى صورته النقية من سيليكات الزركونيوم (جدول ٢-٥) ولكن أحياناً تتواجد بعض العناصر الأخرى مثل الهافنيوم Hf واليورانيوم U والثوريوم Th والإيتريوم Y. عندما تزيد نسبة الهافنيوم عن ٢٠%، يسمى المعدن فى هذه الحالة بالهافنون Hafnon. يؤدى وجود العناصر المشعة مثل اليورانيوم والثوريوم والرصاص إلى إنهيار البنية

جدول ٢ –،٠: أمثلة لبعض التحاليل الكيميائية للزركون.

	١	٢	٣	٤
SiO_2	٣١,٠١	٣١,٤٢	٣٢,٢٥	٣٠,٠٩
ZrO_2	٦٦,٠٥	٦٢,٥١	٦٥,١٠	٦٠,٠٠
Al_2O_3	٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠١	٠,٠٠
FeO	٠,١٠	١,٣٥	٠,٧٠	٠,٠٠
CaO	٠,٠٨	٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠٠
UO_2	٠,٢٠	٠,٠٤	٠,١١	١,٠٤
ThO_2	٠,٠٠	٠,٠١	٠,٠٠	٠,١٩
HfO_2	١,٠٧	٠,٨٢	١,٠٦	٤,٩١
Y_2O_3	٠,٠٠	٠,٠٠	٠,١٢	٠,٣٨
P_2O_5	٠,٠٠	٠,٠٠	٠,١٧	٠,٠٠
ΣREE	١,٠٩	--	--	--
المجموع	٩٩,٦٠	٩٦,١٥	٩٩,٥٢	٩٧,٤٠

١= زركون من الرمال السوداء بمنطقة رشيد، مصر (عن عبد النبي وداود، تحت التحضير In preparation).

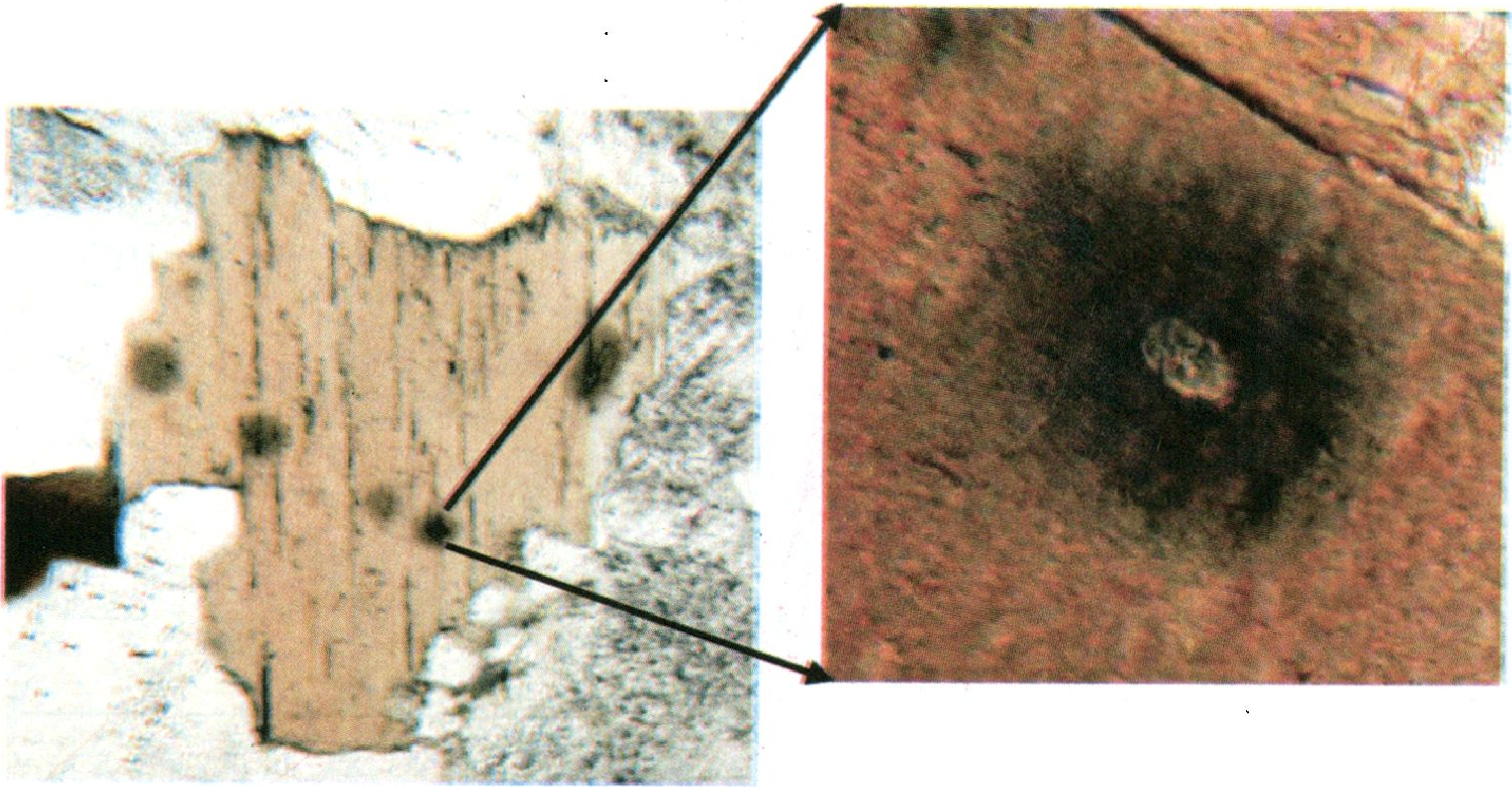
٢= زركون برواسب الوديان بمنطقة دهب، مصر (عن سرور وآخرون ٢٠٠٣ Srour et al.).

٣= زركون بصخور الجرانيت البيوتيتي بمنطقة بودليسي Podlesí، جمهورية التشيك (عن برايتر وأخرون ٢٠٠٥ Breiter).

٤= زركون بالعروق الحرمائية بمنطقة سيرا بلانكا، تكساس (عن روبين وأخرون ١٩٨٩ Rubin et al.).

البلورية للزركون حتى يصل فى بعض الأحيان إلى حالة غير متبلورة Amorphous، تسمى هذا الحالة بالزركون الميتاميكت Metamict (أى الزركون ذو البنية المحطمة من جراء الإشعاع). تحت الميكرسكوب، تظهر هذه البلورات محاطة بهالة متغيرة الألوان Pleochroic halo (شكل٢-٢٢). يصاحب تحطيم البنية البلورية للزركون من جراء الإشعاع تغير أيضاً فى

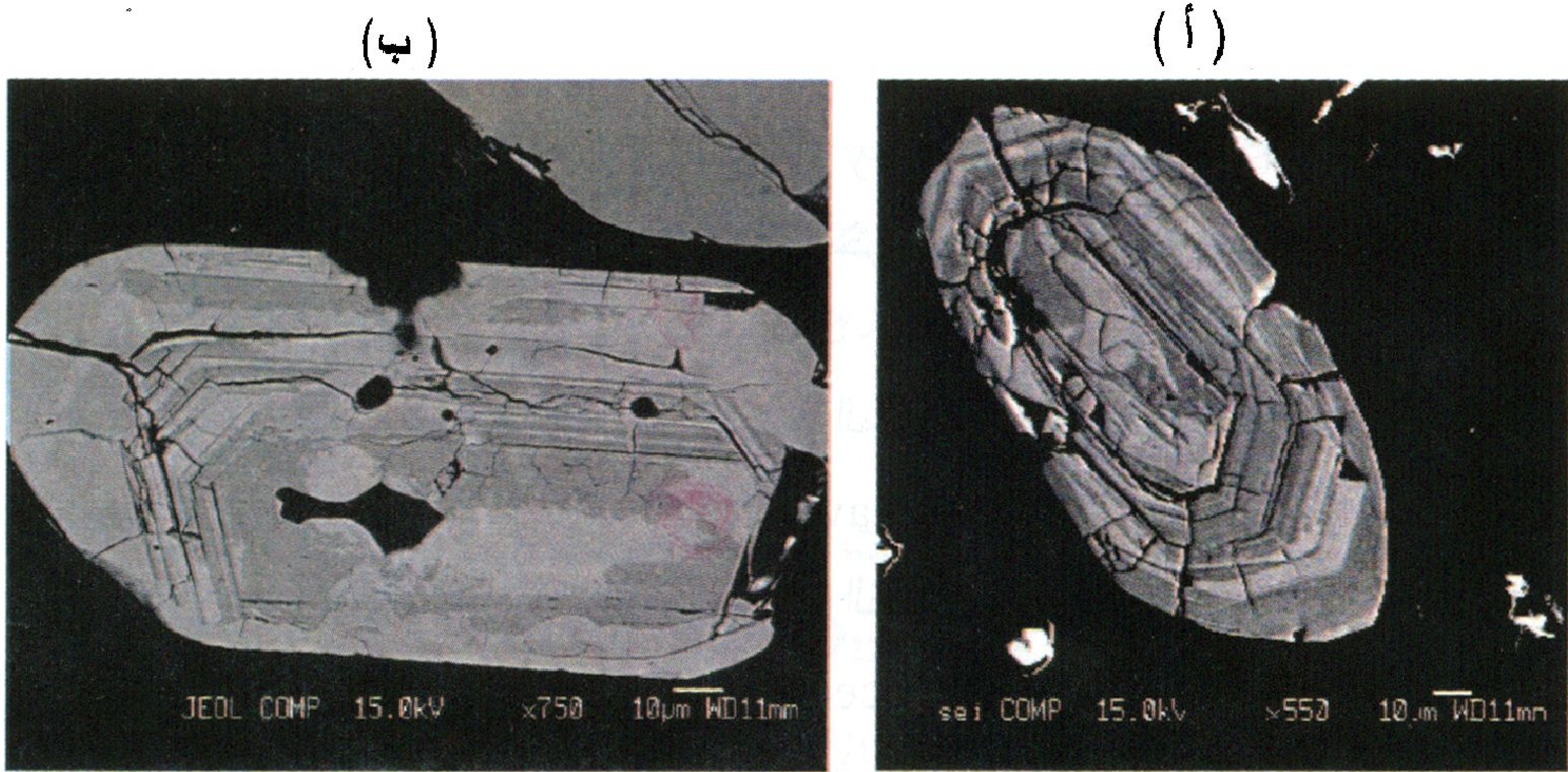
صفاته الفيزيائية والبصرية. يحتوى الزركون في بعض الأحيان على حوالى ٥٠٠٠ جزء فى المليون من مجموع أكسيد اليورانيوم UO_2 وأكسيد الثوريوم ThO_2 وقد ثبت أن مجموع اليورانيوم والثوريوم بالزركون يزيد أحياناً عن ٧% (نسبة وزنية Weight %) (سبير ١٩٨٢ Spear ، دير وأخرون Deer et al. ١٩٩٧). يطلق على النوع غير المستقر للزركون اسم كيرتوليت Cyrtolite. يؤدي زيادة بعض العناصر في الزركون كالهافنيوم والإيتريوم إلى تكوين نطاقية (شكل ٢-٢٣)



شكل ٢-٢٢: هالة متغيرة الألوان حول الزركون المتواجد كمكتنفات بالبيوتيت بصخور الطف بمنطقة فيش كانيون Fish Canyon (www.ucl.ac.uk/~ucfbrxs/PLM/zircon.html).

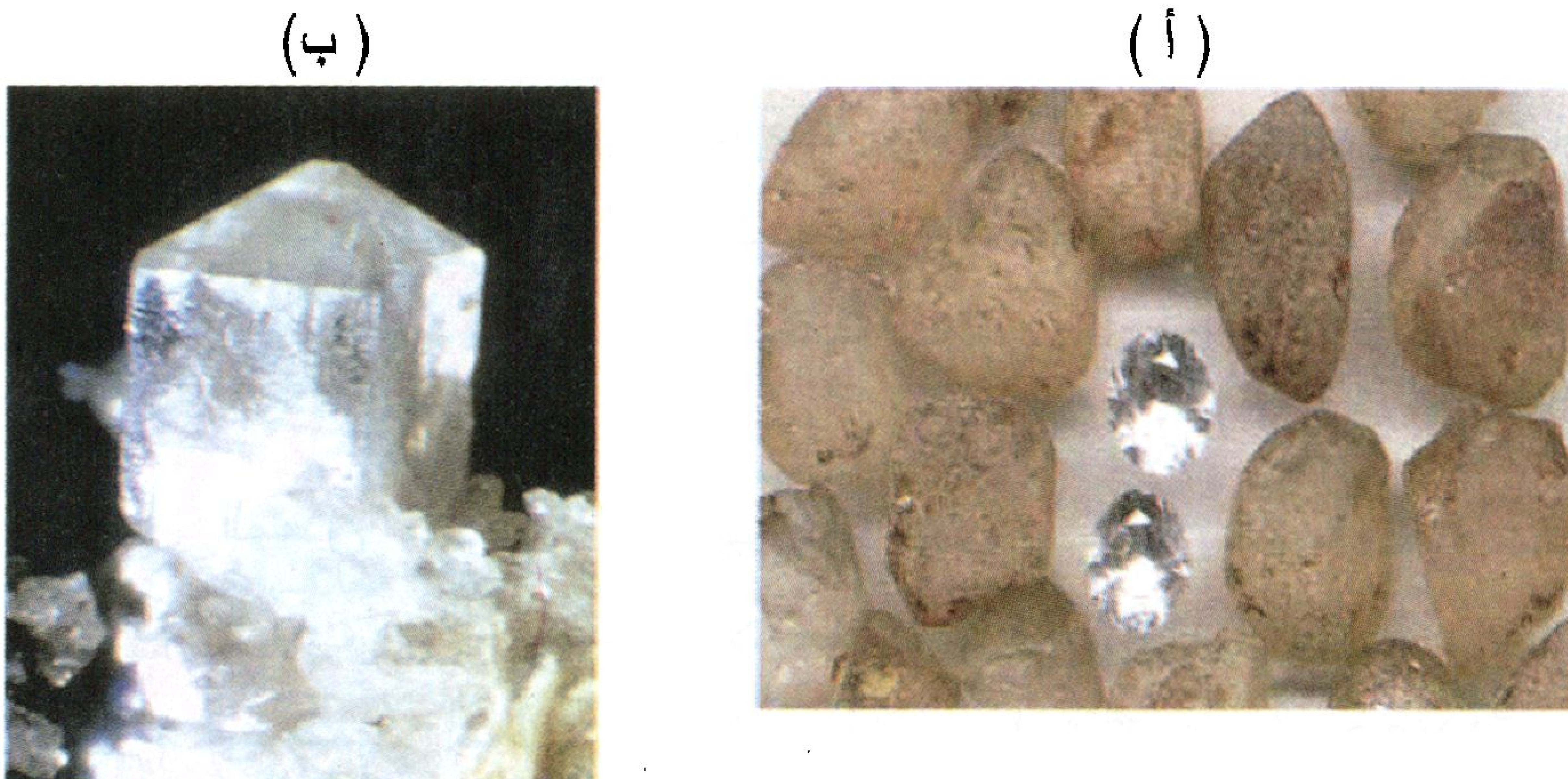
الصفات الفيزيائية والبصرية Physical and optical characteristics

يظهر الزركون على عدة ألوان، منها: البني والأحمر والأصفر والأخضر والأزرق والأسود وأيضاً عديم اللون (شكل ٢-٢٤). يعود اللون البني الغامق إلى وجود شوائب من أكاسيد الحديد بالمعدن. أما النوع الأخضر ذو الحبيبات المستديرة فأنه يدل على النوعية المشعة والغير مستقرة والتي تسمى بالكيرتوليت. البريق ماسي والمخدش أبيض. المعدن شفاف إلى نصف شفاف. الصلادة= ٧,٥. الإنفصام ضعيف موازى للمستوى {100}، وجيد فى المستوى {111}. المكسر غير مستوي. الوزن النوعى=٤,٦-٤,٧.



شكل ٢-٢٣: صور بالوميض الكاسودي توضح النطاقية بمعدن الزركون (أ) من الصخور الجرانيتية بمنطقة أم أرا، جنوب الصحراء الشرقية، مصر. (ب) من الرمال السوداء بمنطقة رشيد، مصر

تحت الميكرسكوب، يبدو المعدن عديم اللون وأحياناً أصفر شاحب أو بني. التضاريس عالية جداً. المعدن أحادي المحور موجب ويبلغ معاملي الإنكسار (ω)= ١,٩٩ و (ϵ)= ١,٩٣ وقرينة الانكسار المزدوج (δ)= ٠,٠٦.



شكل ٢-٢٤: (أ) بلورات بنية اللون من الزركون. (ب) بلورة شفافة ونقية من الزركون على هيئة منشورية منتهية بهرم من منطقة ليشير زيه Laacher See بألمانيا (webmineral.com/specimens/picshow. php?id=1261).

التواجدات والصحبة المعدنية Occurrences and mineral association

يتواجد الزركون كمعدن إضافى Accessory فى أنواع مختلفة من الصخور. يوجد كحبيبات صغيرة بالصخور الجرانيتية والسيانيت والشيست والنيس. كما يمكن أن يوجد كحبيبات كبيرة بالبيجماتيت. ونظراً لكون الزركون من المعادن الثقيلة والشديدة المقاومة لعوامل التجوية، فإنه يكثر وجوده فى الجزء الثقيل Heavy fraction، والذي يفصل من الصخور الرسوبية بعد تفتيتها باستخدام السوائل الثقيلة كالبروموفورم، أو بتركيزات عالية في رواسب الركيزة Placer deposits. ومن أشهر أماكن تواجدات الزركون: مدينة اتافورد Atta Fjord وجزيرة سيلاند بالنرويج Seiland Island وتيرول Tyrol بالنمسا وجبال إيفيل بألمانيا Eifel Mountains وجبال الأورال بروسيا. تأتى معظم الرواسب الإقتصادية الهامة من الرمال الثقيلة بمنطقة كوينزلاند Queensland باستراليا. كما يأتى معظم أنواع الزركون والتى تستخدم كأحجار كريمة من رواسب الركاز ببعض الدول الأسيوية مثل سيريلانكا وبورما وفيتنام وكمبوديا وتايلاند. كما توجد بلورات كبيرة للزركون بمناطق عديدة بمدغشقر والبرازيل وكندا والولايات المتحدة الأمريكية. ويصاحب المعدن المعادن الثقيلة الأخرى برواسب الرمال السوداء بمنطقة رشيد بمصر مثل المونازيت والزينوتيم Xenotime والجارنت ومعادن أخرى مثل البيوتيت والألبيت.

الاستخدامات Uses

يستعمل المعدن كمصدر لأكسيد الزركونيوم الذى يستخدم فى صناعة العوازل الحرارية ومواد الصنفرة. كما تستخدم البواتق المصنوعة من أكسيد الزركونيوم فى صهر البلاتين عند درجات حرارة تزيد عن ١٧٥٥°م. كما يستخدم الزركونيوم فى المفاعلات النووية وذلك لما يتمتع به من خصائص إمتصاصية عالية. تستخدم الأنواع الشفافة من المعدن كأحجار كريمة. كما أن للزركون أهمية خاصة فى تحديد أعمار الصخور الحاوية عليه ويرجع ذلك إلى محتواه من العناصر المشعة مثل اليورانيوم والثوريوم، بالإضافة إلى

قدرته الكبيرة على الإحتفاظ بحالة الإتزان الإشعاعي كوسط مغلق. ولا تقف قيمته من الناحية الجيولوجية على تحديد أعمار الصخور، بل أيضاً في معرفة التاريخ الذى مر به الصخر من عمليات جيولوجية مثل التعرية والنقل وأيضاً عمليات التحول عالية الدرجة، ويرجع ذلك إلى المقاومة العالية للزركون ضد هذه العمليات.

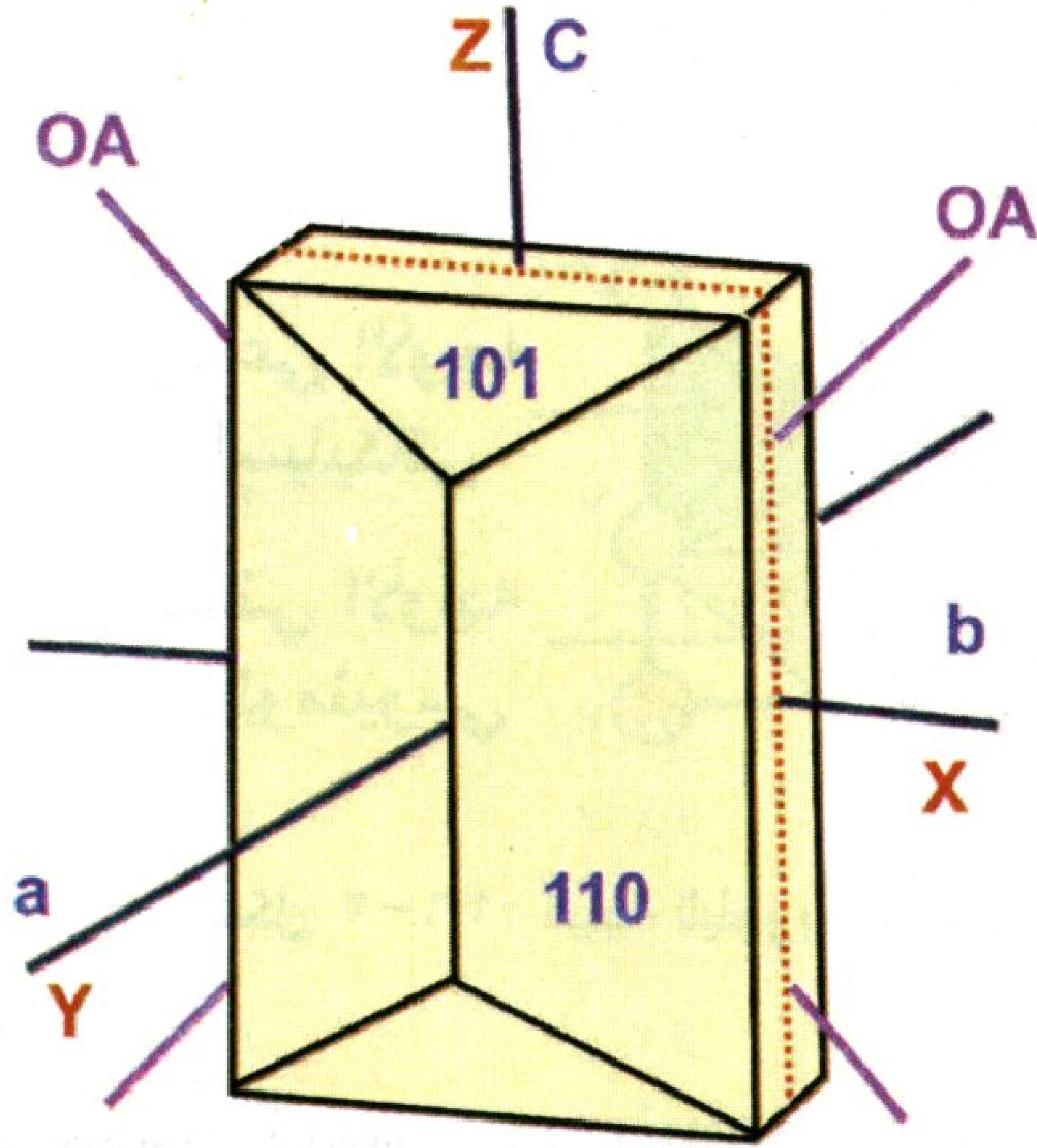
الستوروليت Staurolite


$Fe_2Al_9Si_4O_{22}(OH)_2$

يأتى اسم المعدن من الكلمة الإغريقية *Stauras* والتى تعني "صليب" ويرجع ذلك إلى الهيئة التوأمية الصليبية التى يتواجد عليها المعدن.

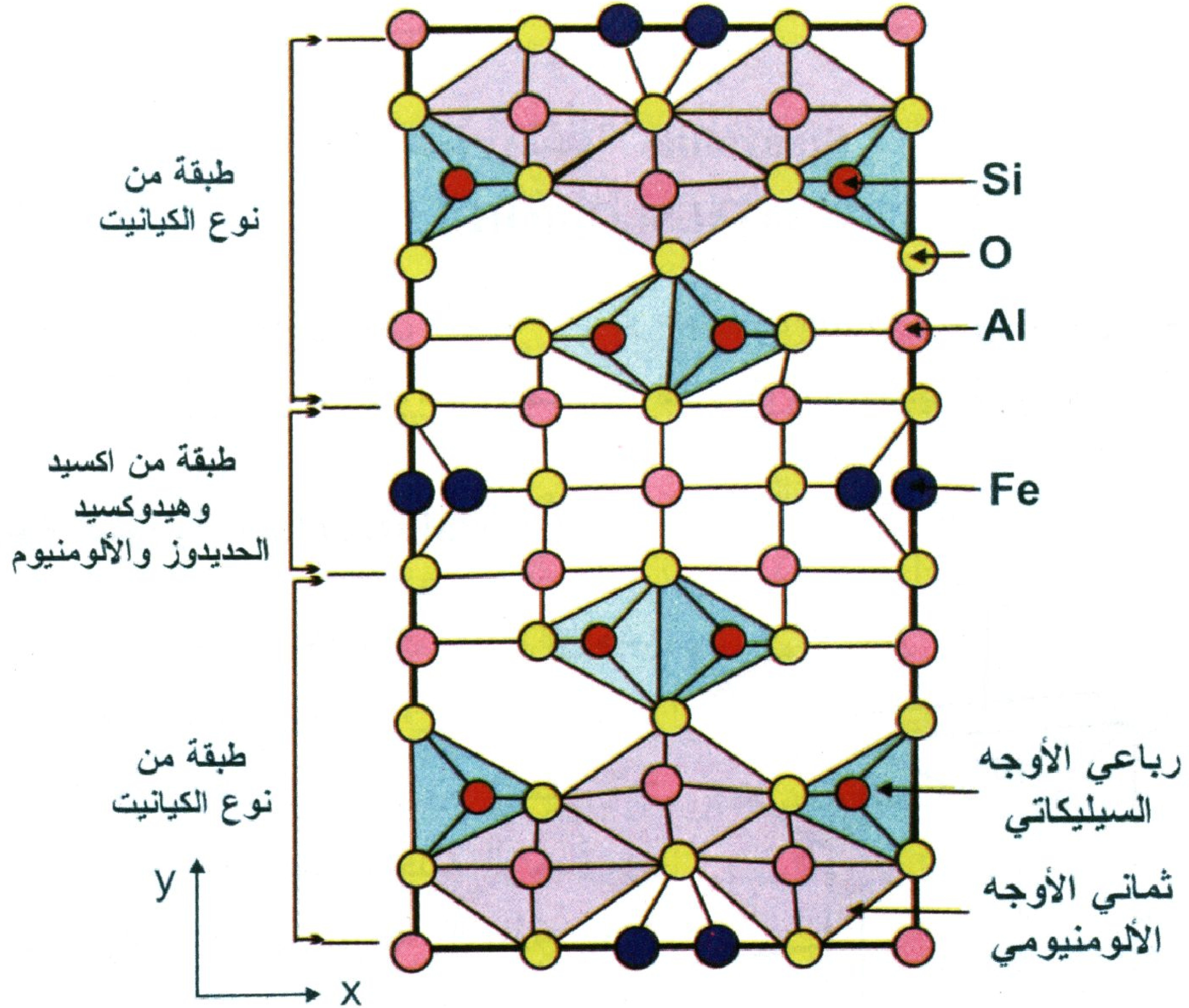
البنية البلورية Crystal structure

يتبلور المعدن بفصيلة الميل الواحد، وتبلغ أبعاد خلية الوحدة: أ= ٧,٨٦، ب= ١٦,٦، ج= ٥,٦٥ أنجستروم (شكل ٢-٢٥). مجموع ما تمتلكه خلية الوحدة من ذرات (Z)=٢، مجموعة النقطة 2/m والمجموعة الفراغية *C2/m*. يشتهر المعدن بالهيئة التوأمية التى تأخذ شكل الصليب أو حرف أكس "X" (شكل ٢-٢٧). هذه التوأمية من النوع الإفتراضى حيث تبدو كأن البلورتين قد نما بداخل وخارج بعضهما. هناك نوعين من التواءم: تصنع البلورتين في النوع الأول زاوية قدرها ٩٠°(على شكل +) والأخرى زاوية ٦٠°(على شكل X). يكثر وجود النوع (X) عن النوع (+). توجد البلورات على هيئة منشورية أو صفائحية. تتشابه البنية البلورية



شكل ٢-٢٥: العلاقة بين المحاور البلورية a, b, c ومحاور مجسم معامل الإنكسار X, Y, Z فى بلورة لمعدن الستوروليت. كما يظهر فى الشكل إتجاه المحوريين البصريين OA.

للستوروليت إلى حد كبير بتلك الخاصة بمعدن الكيانيت حيث تتكون من طبقات من سيليكات الألومنيوم (Al_2SiO_5) والتي تحتوى على سلاسل من ثمانى الأوجه الألومنيومى AlO_6. تتبادل هذه الطبقات مع طبقات أخرى من أكسيد وهيدروكسيد الحديدوز $[Fe(OH)_2]$ والألومنيوم (شكل ٢-٢٦).



شكل ٢-٢٦: البنية البلورية للستوروليت (محور عن دير وأخرون ١٩٨٩ .Deer et al).

كيميائية المعدن Mineral chemistry

يوجد نوعين من الستوروليت حسب التركيب الكيميائى: يسمى الأول بالستوروليت الحديدي وهو النوع النقى من الستوروليت ويكون مستقراً عند درجة حرارة بين ٥٥٠ و٧٠٠°م وضغط أكبر من ٠,١٥ جيجا باسكال (ريشاردسون ١٩٦٦ Richardson)، والنوع الأخر هو الستوروليت الماغنسيومي، حيث يحل الماغنسيوم محل بعض الحديد (حوالى ٣٥% من محتوى الحديد) ويكون مستقراً عند درجة حرارة ٧٠٠ إلى ١٠٠٠°م وضغط

أكبر من ١,٢ جيجا باسكال (شراير وشينير ١٩٦٦ Schreyer and Chinner). كما توجد كميات بسيطة من التيتانيوم والمنجنيز (جدول ٢-٦). يتحول المعدن تحت تأثير عوامل التجوية إلى سيريسيت أو كلوريت.

جدول ٢-٦: التحليل الكيميائي للستوروليت من مناطق مختلفة.

	١	٢	٣	٤
SiO_2	٢٧,٩٥	٢٧,٥٣	٢٧,٦٨	٢٧,٨٦
TiO_2	٠,٣٦	٠,٥١	٠,٢٦	<٠,٠٣
Al_2O_3	٥٢,٤٤	٥٣,٩٦	٥٥,٥٥	٥٥,٤٧
FeO	١٢,٨٩	١١,٦١	١٢,٣٠	١١,٢٨
MnO	٠,٠٤	٠,٠٩	١,٣٥	٠,٤٦
MgO	١,٦٩	١,٣٦	٠,٧١	١,٠١
CaO	٠,٠٠	٠,٠٧	٠,٠٠	٠,١٠
Na_2O	٠,٢٠	٠,٠٦	٠,٠٠	٠,٠٠
ZnO	١,٤٥	١,٦٨	١,٣٤	٢,٧٠
المجموع	٩٧,٠٢	٩٦,٨٧	٩٨,٥٢	٩٨,٧٧
الصيغة بناءً على نسب الكاتيونات				
Si	٧,٧٨	٧,٧٠	٧,٥٥	٧,٦٣
Ti	٠,٠٨	٠,١١	٠,١١	٠,٠٠
Al	١٧,٣٦	١٧,٧٩	١٧,٨٧	١٧,٩٠
Fe^{2+}	٣,٠٣	٢,٧٢	٢,٨١	٢,٥٨
Mn	٠,٠١	٠,٠٠٢	٠,٣١	٠,١١
Mg	٠,٧١	٠,٥٧	٠,٢٩	٠,٤١
Ca	٠,٠٠	٠,٠٢	٠,٠٠	٠,٠٠
Na	٠,٠٣	٠,١١	٠,٠٠	٠,٠٠
Zn	٠,٣٠	٠,٣٥	٠,٢٧	٠,٥٥

١= مكتنفات من الستوروليت في الجارنت بصخور الشيست بمنطقة معيتق Meatiq، الصحراء الشرقية، مصر (نويماير وأخرون ١٩٩٨ Neumayr et al.).

٢= ستوروليت بصخور الشيست بمنطقة معيتق Meatiq، الصحراء الشرقية، مصر (نويماير وأخرون ١٩٩٨ Neumayr et al.).

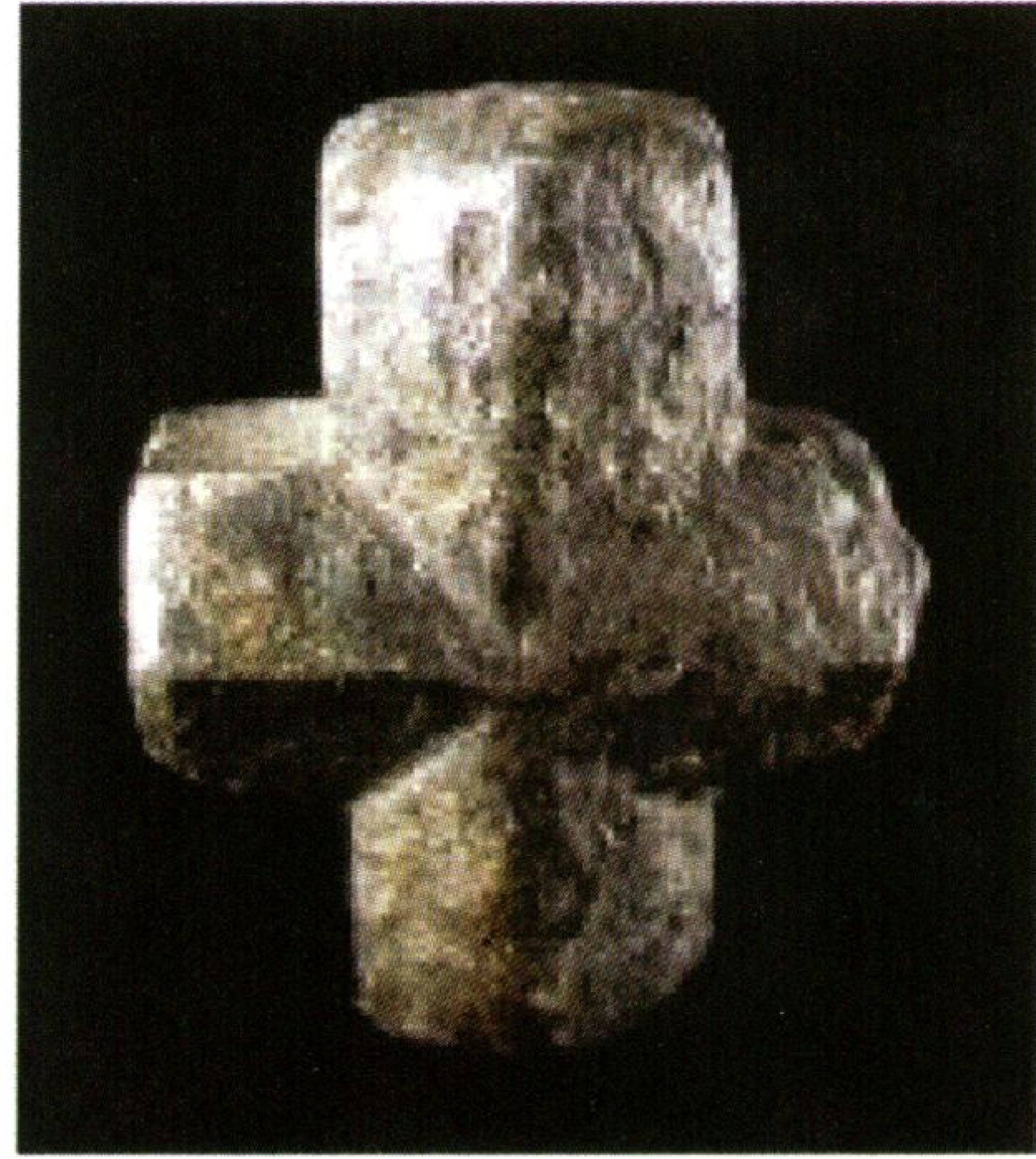
٣= ستوروليت بصخور الكوارتزيت الغنية بمعادن سيليكات الألومنيوم من منطقة سيفريهيسار Sivrihisar بتركيا (وايتني ٢٠٠٢ Whitney).

٤= ستوروليت بصخور الشيست من منطقة سيفريهيسار Sivrihisar بتركيا (وايتني ٢٠٠٢ Whitney).

الصفات الفيزيائية والبصرية Physical and optical characteristics

المعدن بني اللون إلى بني محمر أو أسود (شكل ٢-٢٧). البريق زجاجي وراتنجي إلى معتم فى بعض الأحيان. المخدش أبيض. البلورات نصف شفافة إلى معتمة.

(أ)



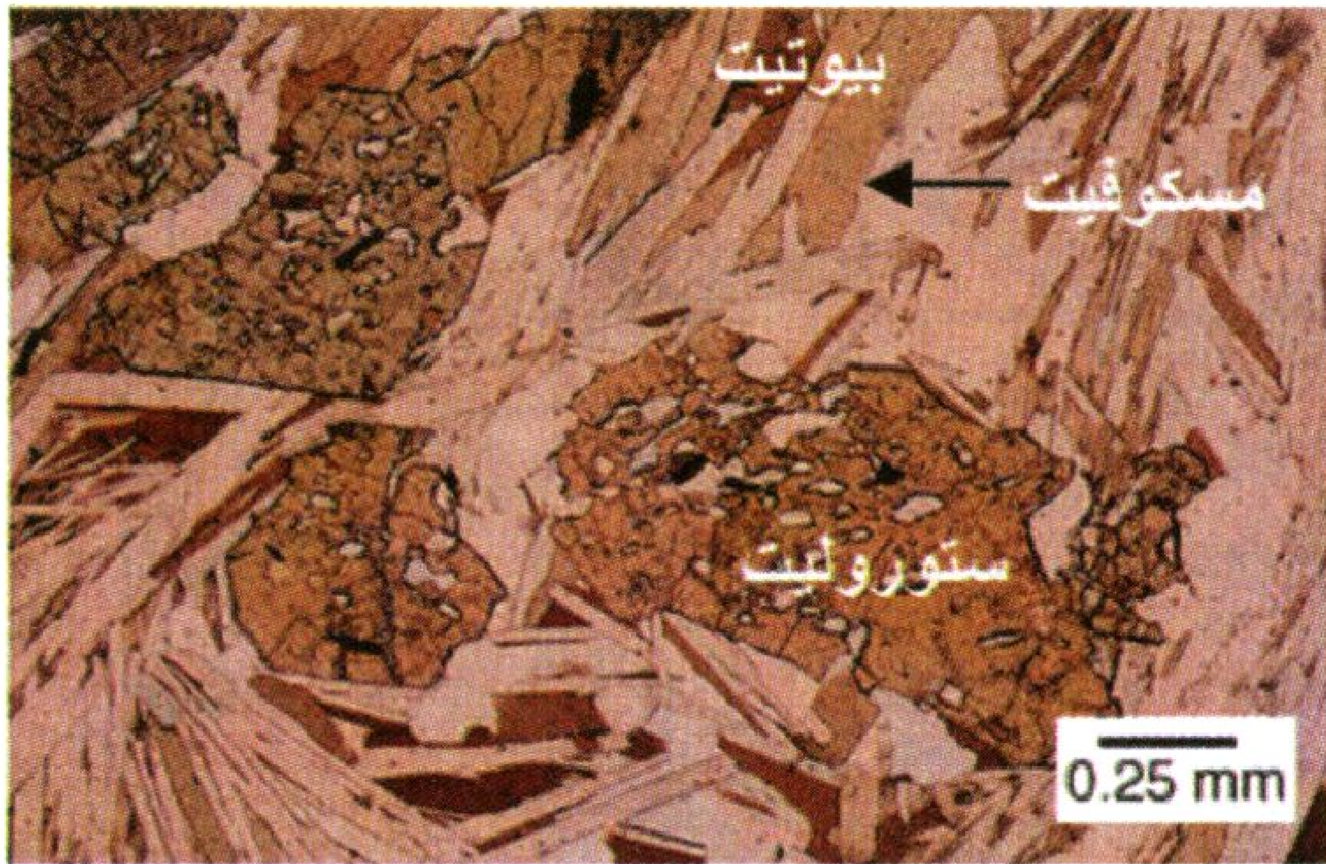
(ب)



(ج)



(د)



شكل ٢-٢٧: (أ) هيئة توأمية صليبية للستوروليت (٣X٢,٥X١,٥ سم) بالرخام من كارولينا الشمالية، الولايات المتحدة الأمريكية (©John Betts - Fine Minerals). (ب) هيئة توأمية علـــى هيئـــة حـــرف إكـــس (X) للستوروليت (Voir la grande image). (ج) صورة ميكروسكوبية لبلورة كاملة الأوجه للستوروليت وبهـــا مكتنفات من البيوتيت والكوارتز والجارنت من صخور الميتابيليت (بالضوء المستقطب). (د) بورفيروبلاستات من الستوروليت أصفر اللون.

http://www.geosci.unc.edu/Petunia/IgMetAtlas/minerals/staurolite.UX.html

الصلادة = ٧-٧,٥. الإنفصام ضعيف فى إتجاه واحد. المكسر غير مستوي إلى محاري والوزن النوعي= ٣,٦٥-٣,٧٥. يظهر المعدن تحت الميكرسكوب بلون أصفر أو بني فاتح وغالباً ما يُظهر تغير لوني. التضاريس عالية موجبة. يُظهر المعدن ألوان تداخل من الرتبة الأولى. المعدن ثنائى المحور موجب وتبلغ معاملات الإنكسار ألفا (α)= ١,٧٣٦- ١,٧٤٧ وبيتا (β)= ١,٧٤٠- ١,٧٥٤ وجاما (γ)= ١,٧٤٥- ١,٧٦٢. تبلغ قرينة الإنكسار المزدوج (δ)= ٠,٠٠٩- ٠,٠١٥ والزاوية البصرية ($2V$) =٨٠°- ٨٨°.

التواجدات والصحبة المعدنية Occurrences and mineral association

يتواجد الستوروليت على شكل بورفيروبلاست بصخور الميتابيليت (شكل ٢-٢٧). يتكون الستوروليت عند درجة حرارة ٥٠٠-٥٥٠ درجة مئوية على حساب كل من الجارنت والكلوريت أو الكلوريتويد حسب التفاعلات التالية:


garnet + chlorite → staurolite + biotite

جارنت كلوريت ستوروليت بيوتيت


chloritoid → staurolite + garnet + chlorite

كلوريتويد ستوروليت جارنت كلوريت

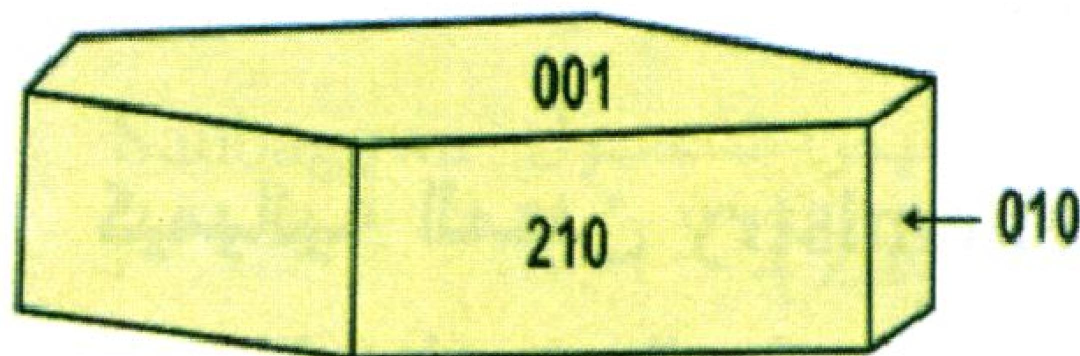
وتشمل المعادن المصاحبة على كل من الجارنت والبيوتيت والمسكوفيت والكيانيت والكوارتز. ومن أشهر أماكن تواجده: جبال الألب بسويسرا وإيطاليا وفرنسا واسكتلندا والعديد من المناطق بالولايات المتحدة الأمريكية.

Chloritoid الكلوريتويد


$(Fe,Mg)\ Al_2SiO_5(OH)_2$

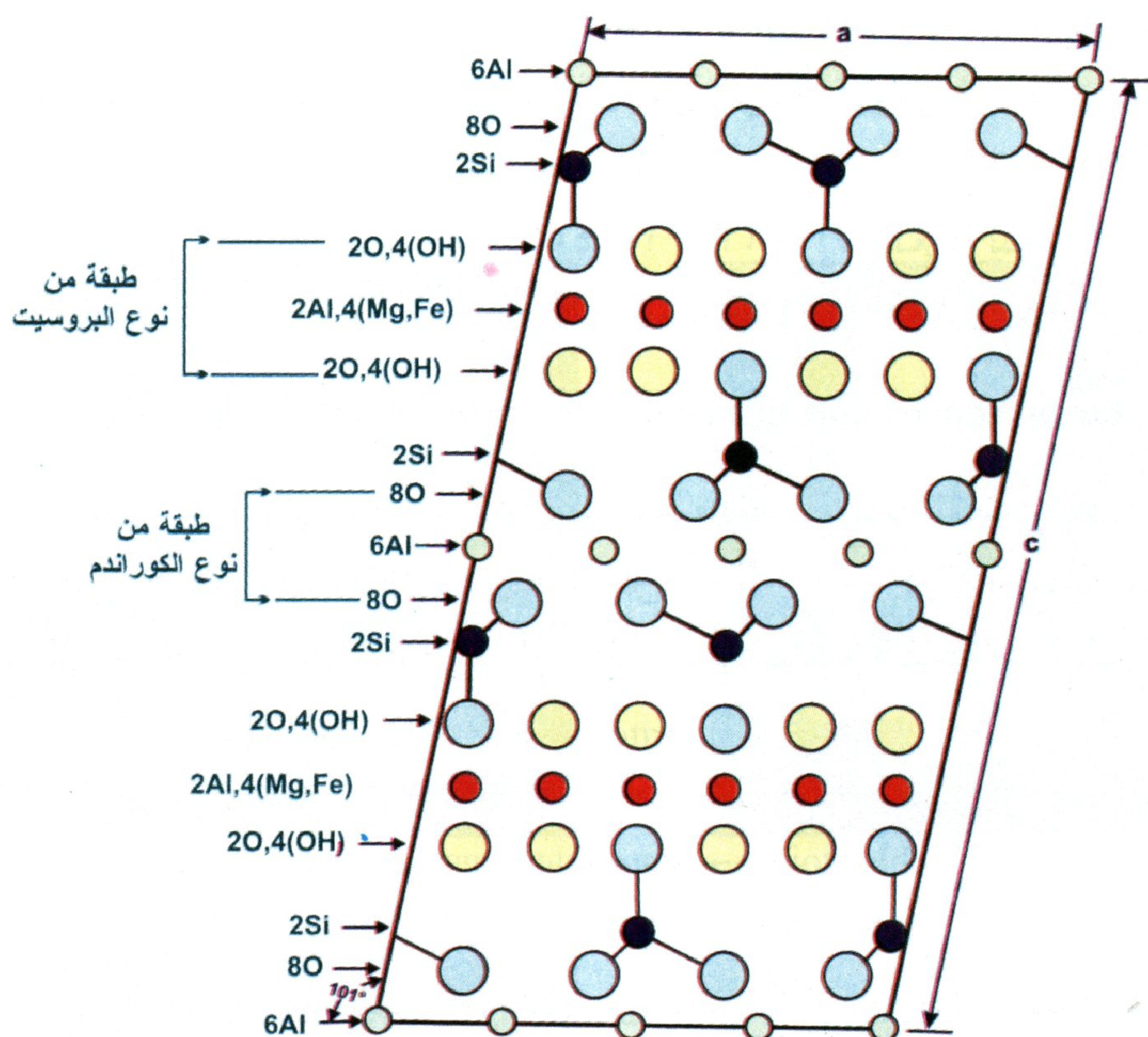
يأتى اسم المعدن نسبةً إلى مجموعة معادن الكلوريت.

البنية البلورية Crystal structure



يتبلور المعدن فى فصيلة الميل الواحد. تبلغ أبعاد خلية الوحدة أ= ٩,٤٨ أنجستروم، ب= ٥,٤٨، ج= ١٨,١٨ أنجستروم. مجموع ما تمتلكه خلية الوحدة من الذرات (Z)=٦ مجموعة النقطة 2/m والمجموعة

الفراغية $C2/C$. تتواجد بلورات المعدن على شكل صفائح متورقة ورقيقة أو على هيئة كتلية أو فتاتية. تشيع التوأمية بالمستوى {001}.



شكل ٢-٢٨: البنية البلورية للكلوريتويد.

تتكون البنية البلورية للكلوريتويد من طبقات متبادلة عمودية على المحور البلوري (c). هناك نوعين من الطبقات، إحداهما تشبه البروسيت $Mg(OH)_2$ والأخرى تشبه الكوراندم Al_2O_3. تتصل هذه الطبقات فيما بينها عن طريق وحدات رباعي الأوجه السيليكاتى SiO_4 والروابط الهيدروجينية.

كيميائية المعدن Mineral chemistry

لايختلف التركيب الكيميائى للكلوريتويد عن صيغته الكيميائية $[(Fe,Mg)Al_2SiO_5(OH_2)]$، ولكن غالباً ما يكون غنياً بالحديد مع إختلاف النسبة بين الحديد والماغنسيوم (جدول ٢-٧). وهناك أحياناً نوع من

جدول ٢-٧: التحليل الكيميائي للكلوريتويد من مناطق مختلفة.

	١	٢	٣	٤
SiO_2	٢٤,٢٩	٢٤,٢٠	٢٣,٥٣	٢٥,١
TiO_2	<٠,٠٣	٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠٠
Al_2O_3	٤١,٦٩	٤١,٠٥	٣٨,٩٠	٤١,٨
FeO	٢٤,٤٥	٢١,٦٣	٢٥,٦١	٢٠,٥٠
MnO	١,٠٦	٠,٣٠	٠,٠٩	٠,٥٦
MgO	٢,٣١	٤,٠٥	١,١٠	٥,٣٩
CaO	٢,٣١	٠,٠٣	٠,٠٠	٠,٠٤
Na_2O	٠,٠٠	٠,٠١	٠,٠٤	٠,٠٠
المجموع	٩٣,٨٣	٩١,٢٧	٨٩,٣٦	٩٣,٣٩
		١٢ ذرة أكسجين		
Si	١,٩٤	١,٩٩٧	٢,٠٢	٢,٠٢
Ti	٠,٠١٨	٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠٠
Al	٣,٩٢٧	٣,٩٩	٣,٩٤	٣,٩٤
Fe^{2+}	١,٦٣٦	١,٤٩٣	١,٨٤	١,٣٨
Mn	٠,٠٧	٠,٠٢١	٠,٠٠٦	٠,٠٤
Mg	٠,٢٨	٠,٤٩٨	٠,١٤	٠,٦٤
Ca	٠,١٩٨	٠,٠٠٣	٠,٠٠	٠,٠٠٣
Na	٠,٠٠	٠,٠٠٢	٠,٠٠٦	٠,٠٠

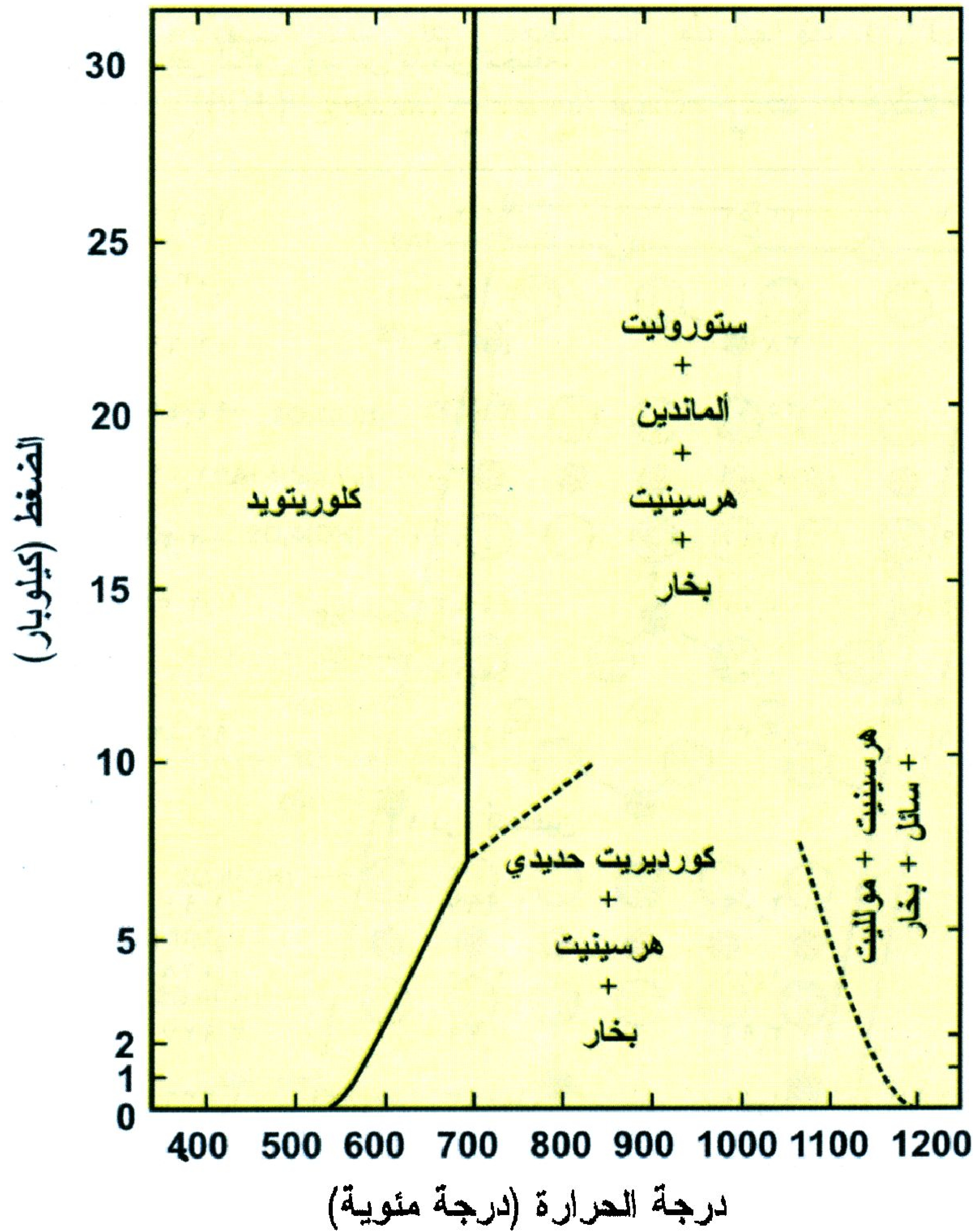
١ = كلوريتويد بصخور الشيست من منطقة سيفريهيسار Sivrihisar بتركيا (وايتني ٢٠٠٢ Whitney).

٢= كلوريتويد بصخور الميتابيليت بمنطقة ساو فرانسيسكو São Francisco ، جنوب شرق البرازيل (نيتو وكابي ١٩٩٩ Neto and Caby).

٣= كلوريتويد بصخور الميتابيليت بمنطقة سيكيم Sikkim بالهيمالايا الشرقية (دابي وأخرون ٢٠٠٥ Dubey et al.).

٤= كلوريتويد بصخور الشيست بمقاطعة بيشي Besshi district بحزام سانبجوا المتحول Sanbagawa metamorphic belt (زاو فين كو وأخرين ٢٠٠٥ Zaw Win Ko et al.).

الاستبدال للمنجنيز محل الحديد الثنائي Fe^{2+}، ويعرف النوع الغني بالمنجنيز (حوالي ١٧% وزن ذري Atomic weight) باسم أوتريليت Ottrelite. كما



شكل ٢-٢٩: منحنيات أحادية التغير للتفاعلات: كلوريتويد ↔ كورديريت غني بالحديد+ هيرسينيت+ بخار، كلوريتويد ↔ ألماندين+ ستوروليت+ هيرسينيت+ بخار، ستوروليت+ ألماندين↔ كورديريت غني بالحديد+ هيرسينيت+ بخار، كورديريت غني بالحديد↔ موليت+ سائل+ بخار (عن هافيردال ١٩٦١ Halferdahl).

يوجد نوع من الإحلال للحديد الثلاثى Fe^{3+} محل الألومنيوم. يوضح الشكل رقم (٢-٢٩) منحنيات اللاهدرجة للكلوريتويد، حيث يبدأ المعدن فى فقده للماء عند درجة حرارة حوالى ٥٥٠°م ويتم نزع الماء عند ٨٠٠°م. تصاحب عملية اللاهدرجة تأكسد الحديد الثنائى إلى الحديد الثلاثى ($Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$) ويمكن تمثيل التفاعل بالمعادلة التالية:



$$4[Fe^{2+}2Al(OH)_4Al_3O_2(SiO_4)_2] + 2O_2 \rightarrow 4[Fe_2^{+3}AlO_3Al_3O_2(SiO_4)_2] + 8H_2O$$

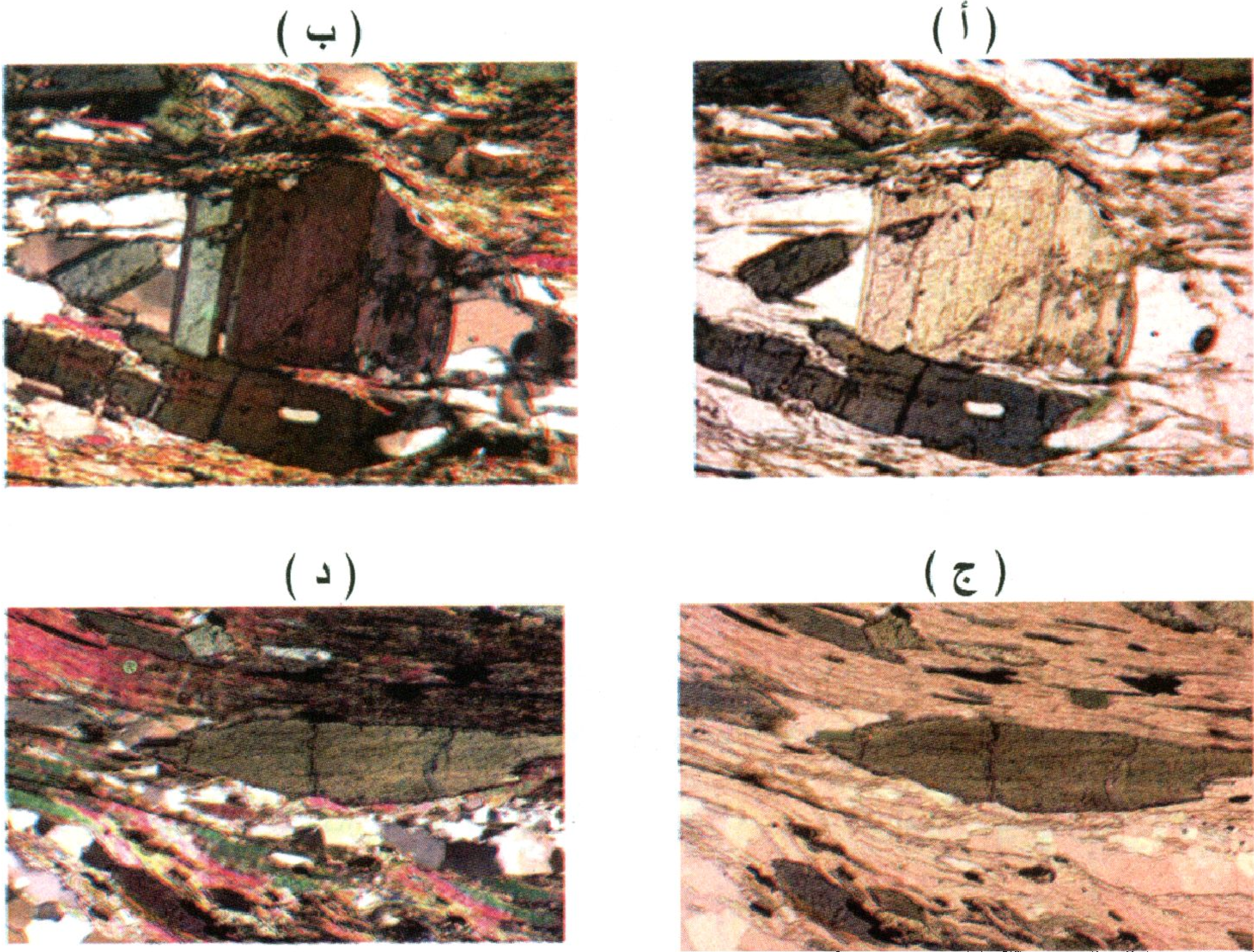
الصفات الفيزيائية والبصرية Physical and optical characteristics

اللون أخضر غامق (شكل ٢-٣٠). البريق لؤلؤي والمخدش رمادي. المعدن شفاف إلى نصف شفاف. الصلادة = ٦,٥ والإنفصام ضعيف فى المستوى {110} والمكسر غير مستوي والوزن النوعي=٣,٥. تحت الميكرسكوب، يبدو المعدن عديم اللون إلى أخضر ويُظهر درجات متفاوتة من تغير الألوان (أخضر إلى أزرق). التضاريس عالية وغالباً ما توجد توأمية مع ألوان تداخل عالية، ويتميز المعدن عن الكلوريت بمعاملات انكساره الأعلى وأيضاً تضاريسه العالية، مع تشابه كل منهما فى قيمة الزاوية البصرية. المعدن ثنائى المحور موجب وتبلغ معاملات الانكسار ألفا (α)= ١,٧١٣-١,٧٣٠ وبيتا (β)= ١,٧١٩- ١,٧٣٤ وجاما (γ)= ١,٧٢٣-١,٧٤٠. قرينة الانكسار المزدوج (δ)= ٠,٠١٠ والزاوية البصرية ($2V$)= ٤٥- ٦٥°.

التواجدات والصحبة المعدنية Occurrences and mineral association

يتواجد المعدن بالصخور البيليتية ذات التحول الإقليمى وصخور الشيست بنطاقات البيوتيت والجارنت والستوروليت. كما يوجد بعروق الكوارتز والكربونات والبيئات الحرمائية الأخرى. ومن المعادن المصاحبة: المسكوفيت والكلوريت والستوروليت والجارنت والكيانيت والكوارتز والميكا. كما يوجد الكلوريتويد، ولكن نادراً، بالصخور المتحولة تحت ظروف الضغط المرتفع مع صحبة من الجلوكوفان بسحنة الشيست الأزرق، ومصاحباً للبيروكسين والأمفيبول بسحنة الإكلوجيت. هناك العديد من الأماكن التى يتواجد فيها الكلوريتويد أهمها: روسيا (جبال الأورال) وسويسرا والنمسا واسكتلندا وإنجلترا والولايات المتحدة الأمريكية وكندا واستراليا.

الاستخدامات Uses: لايوجد.



شكل ٢-٣٠: (أ) بلورة من الكلوريتويد تُظهر أقصى درجة تغير لوني (بالضوء المستقطب). (ب) نفس البلورة ولكن تحت منشوري نيكول حيث تظهر التوأمية المتعددة وألوان التداخل المميزة للكلوريتويد (www.ucl.ac.uk/~ucfbrxs/PLM/chloritoid.html). (ج) بلورات من الكلوريتويد خضراء اللون على هيئة نصلية (تحت الضوء المستقطب) . (د) الصورة "ج" ولكن تحت منشوري نيكول (http://www.nslc.ucla.edu/pet/mineral_html /Chloritoid.html).

التيتانيت (السفين) Titanite (Sphene)



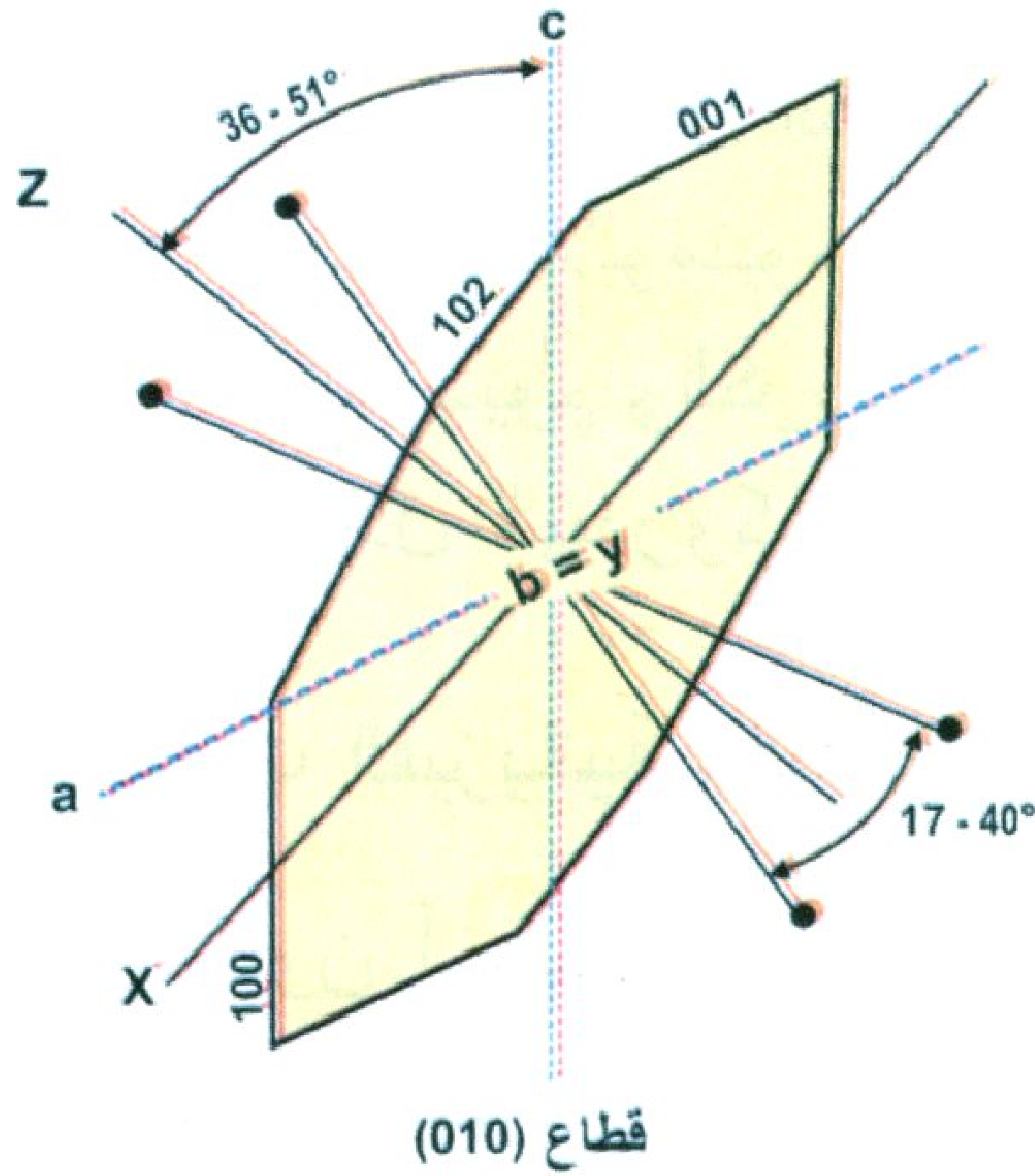
$CaTiSiO_5$

يعكس الاسم المحتوى العالي للتيتانيوم، كما أُطلق عليه قديماً اسم "سفين" والتي تأتي عن كلمة يونانية تعني "وتد Wedge" ويرجع ذلك للهيئة البلورية للمعدن.

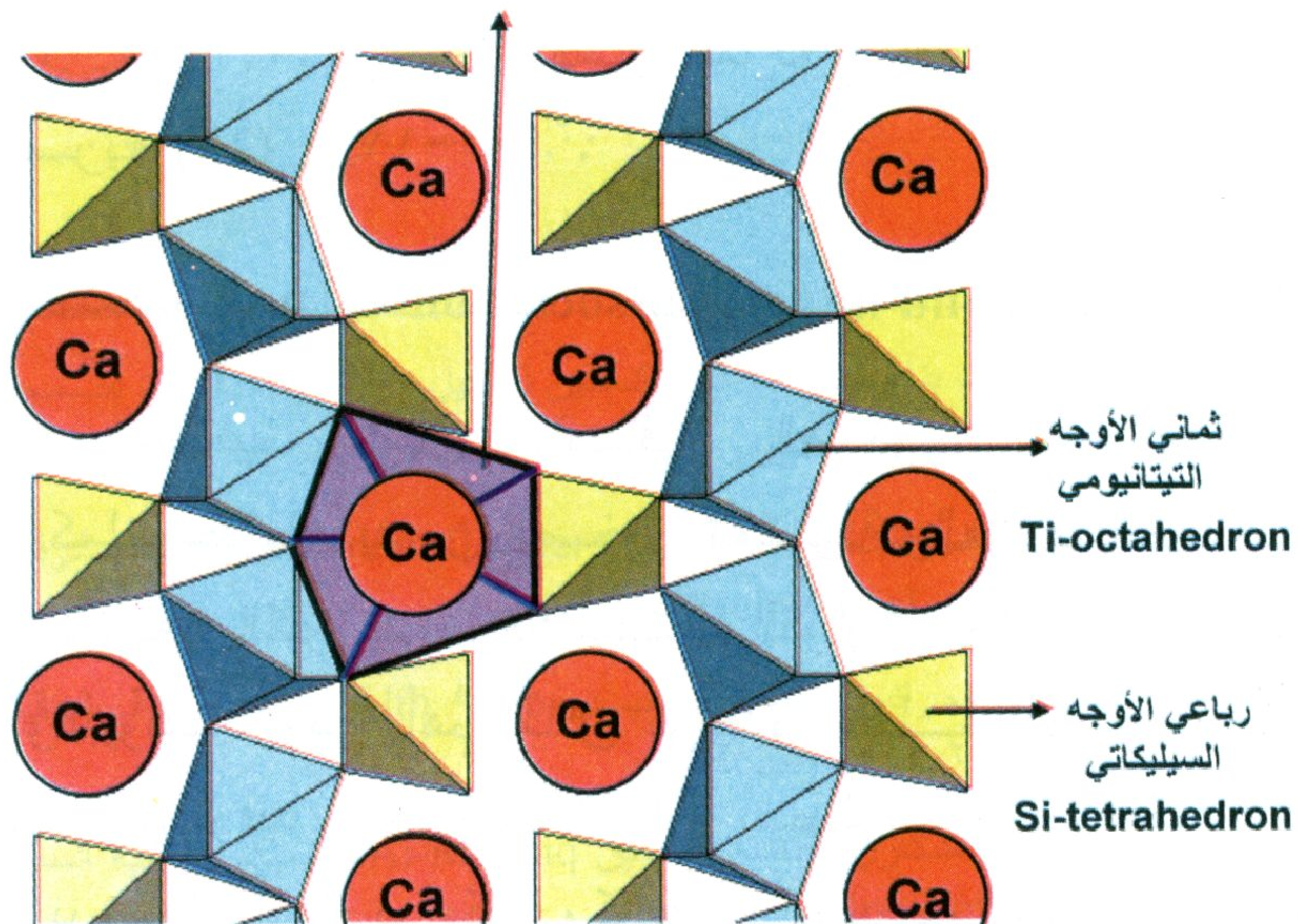
البنية البلورية Crystal structure

يتبلور المعدن فى فصيلة الميل الواحد، حيث تبلغ أبعاد خلية الوحدة: أ= ٦,٥٦، ب= ٨,٧٢، ج= ٧,٤٤ أنجستروم (شكل ٢-٣١). مجموع ما تمتلكه خلية الوحدة من ذرات (Z)=٤. مجموعة النقطة 2/m والمجموعة الفراغية

$C2/C$. تتواجد بلورات المعدن على شكل أوتاد. وبشكل نادر، توجد البلورات على الهيئة الكتلية أو العمدانية. تتكون البنية البلورية للتيتاينت من وحدات ثماني الأوجه بها ذرات التيتانيوم في المركز ومحاطة بستة ذرات من الأكسجين (ثماني الأوجه التيتانيومي TiO_6). تشكل تلك الوحدات سلسلة متصلة ومشوهة على شكل زجزاج وموازية للمحور البلورى "c" عن طريق ذرات الأكسجين بأركانها المتقابلة. تشغل وحدات رباعي الأوجه السيليكاتى الفجوات بين تلك الوحدات، بينما تشغل ذرات الكالسيوم (متعدد الأوجه الكالسيومي) الفجوات الواسعة بين السلاسل المكونة من وحدات ثماني الأوجه التيتانيومي ورباعي الأوجه السيليكاتى (شكل ٢-٣٢).



شكل ٢-٣١: العلاقة بين المحاور البلورية a, b, c ومحاور مجسم معامل الإنكسار X, Y, Z فى قطاع (010) في بلورة لمعدن التيتانيت.



شكل ٢-٣٢: البنية البلورية للتيتانيت.

كيميائية المعدن Mineral chemistry

يوضح الجدول رقم (٢-٨) التركيب الكيميائى للتيتاينت، حيث يوجد به العديد من العمليات الإحلالية، من أهمها:

- إحلال الصوديوم والعناصر الأرضية النادرة والمنجنيز والسترنشيوم والباريوم محل الكالسيوم.
- إحلال الألومنيوم والحديد الثلاثي والماغنسيوم والنيوبيوم والتانتالم والفانيديوم والكروميوم محل التيتانيوم.
- إحلال الهيدروكسيل (OH) والفلورين والكلورين محل الأكسيجين.

الصفات الفيزيائية والبصرية Physical and optical characteristics

اللون أخضر أو أصفر أو أبيض أو بني أو أسود (شكل ٢-٣٣). البريق ألماسي والمخدش أبيض. البلورات شفافة إلى نصف شفافة. تتراوح الصلادة بين ٥ و٥,٥. الإنفصام جيد منشوري موازي للمستوى {110} وضعيف موازى للمستوى {100}. المكسر غير مستوي ويتراوح الوزن النوعى بين ٣,٣ و٣,٦. تحت الميكرسكوب، يتميز المعدن بالتضاريس العالية جداً وأيضاً قرينة الإنكسار المزدوج العالية. المعدن ثنائى المحور موجب. معاملات الإنكسار ألفا (α)= ١,٨٤٣- ١,٩٥٠ وبيتا (β)= ١,٨٧٠-٢,٠٣٤ وجاما (γ)= ١,٩٤٣- ٢,١١٠. قرينة الإنكسار المزدوج (δ)= ٠,١٠٠- ٠,١٩٢ والزاوية البصرية ($2V$) = ١٧- ٤٠°.

التواجدات والصحبة المعدنية Occurrences and mineral association

يكثر وجود التيتانيت كمعدن إضافى بالصخور النارية الحامضية والمتوسطة. كما يوجد بالعديد من الصخور المتحولة والعروق الحرمائية. من المعادن المصاحبة: الكلوريت والكالسيت والكوارتز والزركون والفلسبار والأمفيبول والبيوتيت. ومن أهم أماكن تواجده: منطـقة جيلجيت بباكستان Gilget وجبل فيزيوفيس Mt Vesuvius بإيطاليا وجزيرة كولا Kola Penninsula بروسيا وأونتاريو بكندا وكاليفورنيا ونيويورك بالولايات المتحدة الأمريكية.

جدول ٢-٨: أمثلة للتحليل الكيميائي للتيتانيت من مناطق مختلفة.

	١	٢	٣
Na_2O	٠,٠٠	٠,٠٤	٠,٠٣
CaO	٢٦,٢١	٢٨,٨٩	٢٧,٥١
Al_2O_3	١,٤١	٢,٣٥	٨,٣٠
TiO_2	٣٦,٨٠	٤١,١٠	٢٨,٠٨
SiO_2	٢٩,٥٥	٣٥,٠٠	٣٠,٠٠
FeO	٠,٩٦	١,٣١	٠,٨٤
MnO	٠,٠٠	٠,٠٣	٠,٠٠
MgO	٠,٠٠	٠,٢٤	٠,٠٤
K_2O	٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠١
F	٠,٢٧	١,٠٤	٣,٢٧
Cl	٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠٧
المجموع	٩٥,٢٠	٩٩,٩٥	٩٨,١٥
		كاتيون بوحدة الصيغة*	
Na	٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠٠٢
Ca	٣,٨٠	٤,٠٩	٠,٩٨٧
Al	٠,٢١	٠,٣٧	٠,٣٢٧
Ti	٣,٨٢	٣,٤٨	٠,٦٥٦
Si	٤,٠١	٤,٠٩	١,٠٠٤
Fe	٠,١١	٠,١٤	٠,٠٢٢
Mn	٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠٠
Mg	٠,٠٠	٠,٠١	٠,٠٠٢
K	٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠٠

* تم حساب الكاتيونات بناءً على ٢٠ ذرة أكسجين للتحليل ١-٢، و ٤,٥ ذرة أكسجين + ٠,٥ ذرات هيدروكسيل وكلورين وفلورين (OH, F, Cl) للتحليل رقم ٣.

١= تيتانيت بصخور الجرانيت بمنطقة أم تاجر Um Tagher، الصحراء الشرقية، مصر (حلمي وأخرون ٢٠٠٤ .Helmy et al).

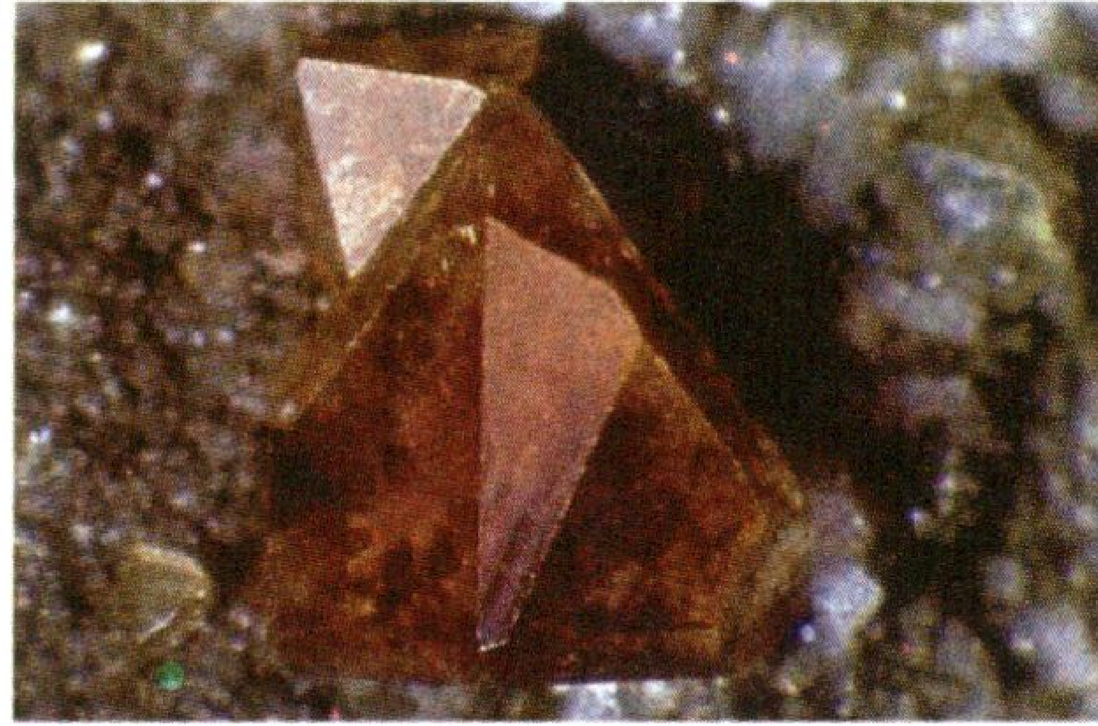
٢= تيتانيت بصخور الجرانيت بمنطقة أم عنيب Um Anab، الصحراء الشرقية، مصر (حلمي وأخرون ٢٠٠٤ .Helmy et al).

٣= تيتانيت برواسب السكارن بمنطقة المدحيق Al-Madhiq، المملكة العربية السعودية (أحمد وحريري ٢٠٠٦ Ahmed and Hariri).

(أ)



(ب)



شكل ٢-٣٣:(أ) بلورات خضراء اللون للتيتانيت مع كوارتز من منجم فازيندا روبين بيمينتا بالبرازيل Fazenda Rubin Pimenta Mine (٨ X ٥,٥ X ١,٥ سم) (ب) بلورات توأمية بنية اللون للتيتانيت من منطقة بينتال Binntal بسويسرا.
(http://www.mineralatlas.com/mineral%20photos/T/titanite%20cp.htm).

الاستخدامات Uses

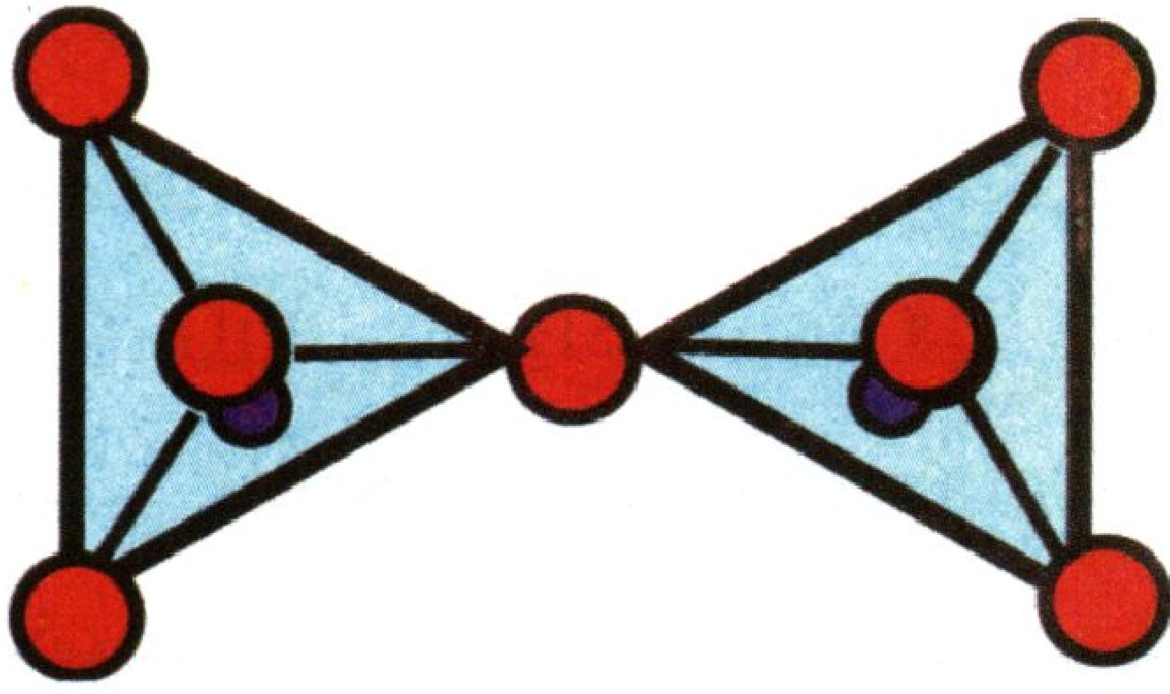
يأتى التيتانيت بعد الروتيل كمصدر هام للتيتانيوم. يتميز عنصر التيتانيوم بأنه غير قابل للتأكل وله درجة إنصهار عالية جداً (١٨٠٠ درجة مئوية) كما أن له قوة تحمل عالية وتستخدم سبائك التيتانيوم فى تطبيقات كثيرة بالصناعات المتقدمة مثل الطائرات والصواريخ ومركبات الفضاء وفى أدوات الجراحه. كما يستخدم أكسيد التيتانيوم كصبغة بيضاء فى الدهانات ليحل محل الرصاص نظراً لما للرصاص من خطورة على الصحة العامة. يبلغ ما يتم إستهلاكه من التيتانيوم فى صناعة الصبغات حوالى ٩٥% من مجمل الإنتاج. ومن أمثلة المواد التى تستخدم فيها صبغات التيتانيوم: البلاستيك والمطاط والنسيج والجلود والسيراميك والورق. كما تستخدم مركبات التيتانيوم فى محطات تحلية المياه وأجزاء من الأدوات الكهربائية والمنتجات الزجاجية.

الباب الثالث

المعادن السيليكاتية المزدوجة

Sorosilicates

يشترك فى هذه المعادن إثنان من رباعى الأوجه السيليكاتي Tetrahedron مع ذرة أكسجين واحدة حيث تكون نسبة السيليكون إلى الأكسجين ٢:٧ (شكل ٣-١). وتنقسم هذه المعادن إلى عدة أقسام إعتماداً على وجود أو عدم وجود أنيونات إضافية مع مجموعة Si_2O_7 وهذه الأقسام هى:



شكل ٣-١: ترابط رباعى الأوجه السيليكاتى فى السوروسيليكات Si_2O_7

١- قسم لايحتوى على أى أنيونات إضافية مثال: باريليت Barylite $BaBe_2Si_2O_7$ وجيتينسيت Gittinsite وكييفيت Keiviite $CaZrSi_2O_7$ $(Y,Yb)_2Si_2O_7$ وإيتريااليت Yttrialite $(Y,Th)_2Si_2O_7$.

٢- قسم يحتوى على أنيونات إضافية من الأكسجين والفلورين والهيدروكسيل بالإضافة للماء مثال: بيرتارانديت Bertrandite $Be_4[Si_2O_7](OH)_2$ واللاوسونيت Lawsonite $CaAl_2[Si_2O_7](OH)_2.H_2O$ وإلفيت Ilvaite $CaFe^{2+}Fe_2^{3+}O[Si_2O_7](OH)$

٣- قسم يحتوى على مجموعات معزولة من Si_3O_{10} ومجموعات أكبر غير حلقية (Insular Si_3O_{10} and larger noncyclic groups) مثال: أمينوفيت Aminoffite $Ca_3Be_2Si_3O_{10}(OH)_2$ وترابزونيت Trabzonite $Ca_4Si_3O_{10}.2H_2O$ وزيونيت Zunyite $Al_{13}O_4(Si_5O_{16})(OH,F)_{18}Cl$.

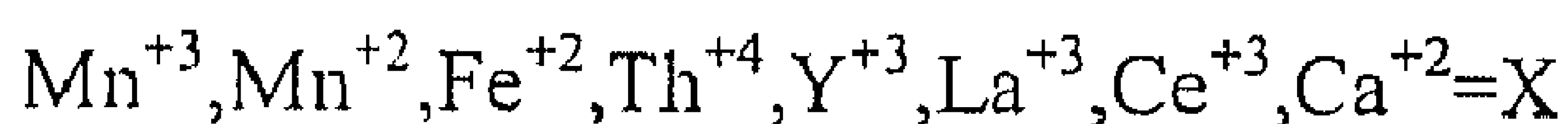
٤- قسم يحتوى على مجموعات أكبر من رباعى الأوجه معزولة ومختلطة ومنفردة ومجموعات أكبر من رباعى الأوجه (Insular, mixed, single

and larger tetrahedral groups) مثال: مجموعة الإبيــدوت Epidote ومجموعة البيمبيلليت Pumpellyite والفيزيوفيانيت Vesuvianite.

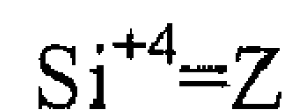
وسيهتم هذا الباب بأكثر المجموعات شيوعا وهى مجموعــة الإبيــدوت بالإضافة إلى كل من الفيزيوفيانيت والإلفيت.

مجموعة الإبيدوت

تتبلور المعادن الموجودة فى مجموعة الإبيدوت إما فى فصيلة المعينــى القائم أو فى فصيلة الميل الواحد. تتكون البنية البلورية لهــذه المعــادن مــن سلاسل ثمانية الأوجه من AlO_6 و $AlO_4(OH)_2$ مرتبطة بمجموعات منفصلة من SiO_4 و Si_2O_7. توجد فى هذه المجموعة ذرات الألومنيوم Al فى مركــز ثمانى الأوجه Octahedral sites مرتبطة بعدد ٦ أنيون أكسجين أو ٤ أنيــون أكسجين و٢ أنيون هيدروكسيل. كما تمتلئ بعض أمــاكن ثمــانى الأوجــه الأخرى بكل من ذرات الألومنيوم والحديد الثلاثى. يحدث بوجه عام نوع من الإحلال لعناصر أخرى محل العناصر الموجــودة فــى مجموعــة معــادن الإبيدوت وخاصة المتبلورة فى فصيلة الميل الواحد كما يحدث ذلك أيضاً فى معدن الزوسيت Zoisite المتبلور فى فصيلة المعينى القائم حيث يحل الحديــد الثلاثى محل الألومنيوم. ويمكن تلخيص تركيب مجموعــة الإبيــدوت فــى الصيغة $X_2Y_3Z_3(O,OH,F)_{13}$ حيث:

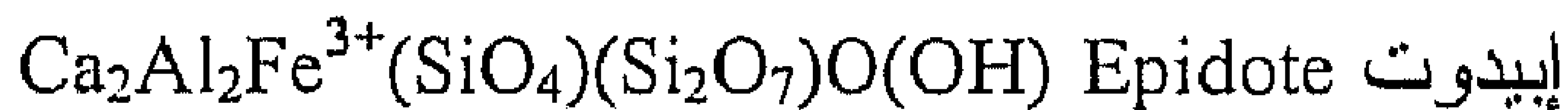

$Mn^{+3},Mn^{+2},Fe^{+2},Th^{+4},Y^{+3},La^{+3},Ce^{+3},Ca^{+2}=X$


$Mn^{+2},Ti^{+3},Fe^{+2},Mn^{+3},Fe^{+3},Al^{+3}=Y$

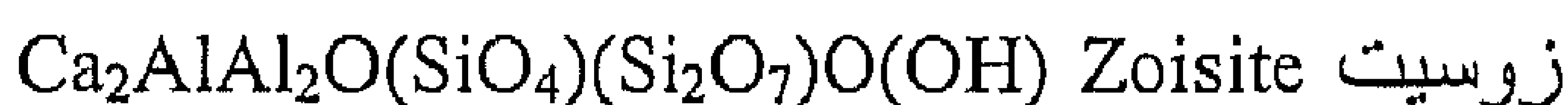

$Si^{+4}=Z$

يمكن كتابة تركيب أهم المعــادن المكونــة لهــذه المجموعــة كــالأتى:


كلينوزوسيت Clinozoisite $Ca_2AlAl_2(SiO_4)(Si_2O_7)O(OH)$


إبيدوت Epidote $Ca_2Al_2Fe^{3+}(SiO_4)(Si_2O_7)O(OH)$


بيمونتيت Piemontite $Ca_2(Mn,Fe^{+3},Al)_2Al(SiO_4)(Si_2O_7)O(OH)$


زوسيت Zoisite $Ca_2AlAl_2O(SiO_4)(Si_2O_7)O(OH)$


ألانيت Allanite $(Ca,Mn^{+2},Ce)_2(Fe^{+2},Fe^{+3},Al)_3(SiO_4)(Si_2O_7)O(OH)$

يعرض جدول (٣-١) أهم المعادن المكونة لمجموعة الإبيدوت وتركيبهـا الكيميائى حسب تقسيمات دانا Dana classification. تشكل مجموعة معـادن الإبيدوت جزءاً هاماً من المعادن المكونة للصخور. ويعتبر معدن الألانيـت بوجه خاص ذو أهمية جيوكيميائية لما يحتويه من عناصر أرضـية نـادرة كالسيريوم وعناصر مشعة كالثوريوم. وغالبـا مايوجـد كمعـدن إضـافى Accessory mineral فى الصخور الحاوية عليه. أما الزوسيت فهـو متعـدد شكلى لمعدن الكلينوزوسيت ويتبلور فى فصيلة المعينى القائم وله بنيه مميزة ويتواجد فى نفس الصحبة المعدنية لمعدن الإبيدوت. توجد مجموعة معـادن الإبيدوت فى العديد من أنواع الصخور منها مايتكون بـالقرب مـن سـطح الأرض كالصخور الرسوبية أو تحت ضغط عالى كالـصخور المتحولـة أو كنواتج تجوية لبعض معادن الصخور النارية. ويمكن إعتبار معـادن هـذه المجموعة كمكافيء منخفض الحرارة وعالي الضغط لمعـادن البلاجيـوكليز الغنية بالكالسيوم. لذلك فلها أهمية متساوية لمعادن الفلسبار فى دراسة أصـل الصخور Petrogenesis. كما أن معادن الإبيدوت هى أهم المعادن الحاويـة على كاتيون الحديد الثلاثى وتعطى معلومات عن نشاط وتركيز الأكـسجين Oxygen fugacity وعن حالة تأكسد الصخور الحاوية عليها (ليبشر وفرانتـز Liebscher and Frantz ٢٠٠٤). تشارك معادن الإبيدوت بقدر ملحـوظ فـى تركيزات العناصـر الـشحيحة مثـال المنجنيـز والفانـديوم والرصـاص والإسترونشيوم والعناصر الأرضية النـادرة REE وذلـك فـى الـصخور والرواسب الحاوية على تلك المعادن.

جذبت مجموعة معادن الإبيدوت إهتمام العديد من العلماء فى الأعوام الأخيرة لما لها من أهميـة كبيرة من الناحية الجيوكيميائية ومن ناحيـة دراسة أصل تكوين الصخور وبوجه خاص زاد الإهتمام بالدراسات التجريبية والإسبكتروسكوبية (بيرد وشبيلر Bird and Spieler ٢٠٠٤، ناجاشيم ٢٠٠٦ Nagashim). فى عام ١٩٨٦ قام دير وأخرون Deer et al. بإصدار دراسة شاملة عن هذه المجموعة. وفى عام ١٩٩٠ تم عقد مؤتمر دولى عن مجموعة معادن الإبيدوت فى مدينة نيوكيرشين بالنمسا Neukirchen, Austria وقد قام

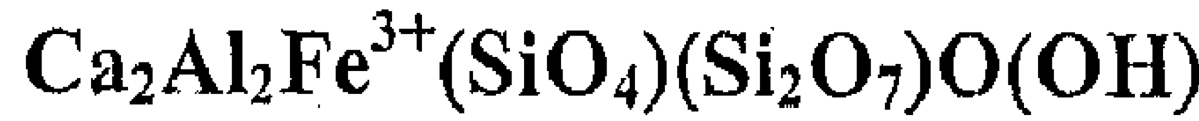
بتنظيم هذا المؤتمر الجمعية النمساوية لعلم المعادن. وفى عام ١٩٩٩ أُقيم إجتماع فى مدينة سترازبورج (EUG 10 in Strasbourg) تحت عنوان الإتجاهات الحديثة فى الدراسات الخاصة بمجموعة معادن الإبيدوت. والذى ألقى الضوء على أهمية هذه المجموعة فى مجال علوم الأرض. وفى عام ٢٠٠٤ تم إصدار عدد خاص من مراجعات فى المعادن والجيوكيمياء Reviews in Mineralogy and Geochemistry التابعة لجمعية علم المعادن

جدول ٣-١: أهم معادن مجموعة الإبيدوت

إسم المعدن		التركيب الكيميائى
ألانيت (سيريوم)	Allanite-(Ce)	$(Ce,Ca,Y)_2(Al,Fe)_3(SiO_4)(Si_2O_7)O(OH)$
ألانيت (لانثانم)	Allanite-(La)	$Ca(REE,Ca)Al_2(Fe,Fe)(SiO_4)(Si_2O_7)O(OH)$
ألانيت (إيتريم)	Allanite-(Y)	$(Y,Ce,Ca)_2(Al,Fe)_3(SiO_4)(Si_2O_7)O(OH)$
كلينوزوسيت	Clinozoisite	$Ca_2Al_3(SiO_4)_3(OH)=Ca_2AlAl_2(SiO_4)(Si_2O_7)O(OH)$
ديساكيسيت (سيريوم)	Dissakisite-(Ce)	$Ca(Ce,REE)(Mg,Fe)(Al,Fe)_2Si_3O_{12}(OH)$
دولاسيت (سيريوم)	Dollaseite-(Ce)	$CaCeMg_2AlSi_3O_{11}(OH,F)_2$
ابيدوت	Epidote	$Ca_2(Fe,Al)Al_2(SiO_4)(Si_2O_7)O(OH)$
هانكوكيت	Hancockite	$(Ca,Pb,Sr)_2(Al,Fe)_3(SiO_4)(Si_2O_7)O(OH)$
كريستوفيت (سيريوم)	Khristovite-(Ce)	$(Ca,REE)(Ce,REE)(Mg,Fe,Cr,Ti,V,Al)Mn Al(SiO_4)(Si_2O_7)(OH)(F,O)$
ميوكينيت	Mukhinite	$(Ca_2Al_2V)(SiO_4)(Si_2O_7)O(OH)$
بيمونتيت	Piemontite	$Ca_2(Mn,Fe^{+3},Al)_2Al(SiO_4)(Si_2O_7)O(OH)$
إسترونشيوبيمونتيت	Strontiopiemontite	$(Ca,Mn)(Sr,Ca)Mn(Al,Mn,Fe)_2(SiO_4)(Si_2O_7)O(OH)$
أندروسيت (لانثانم)	Androsite-(La)	$(Mn,Ca)(La,Ce,Ca,Nd)AlMnMn(SiO_4)(Si_2O_7)O(OH)$
فيرياًلانيت (سيريوم)	Ferriallanite-(Ce)	$CaCe(Fe,Fe,Al)_3(SiO_4)(Si_2O_7)O(OH)$
تويديلايت	Tweddillite	$CaSr(Mn,Fe)_2Al(SiO_4)(Si_2O_7)O(OH)$
جاتيليت (سيريوم)	Gatelite-(Ce)	$(Ca,Ce,La,Nd)_4(Al,Mg,Fe)_4(Si_2O_7)(SiO_4)_3(O,F,OH)_3$
نايجاتيت	Niigataite	$CaSrAl_3(Si_2O_7)(SiO_4)O(OH)$
فاستمانلانديت (سيريوم)	Vastmanlandite-(Ce)	$Ce_3CaMg_2Al_2Si_5O_{19}(OH)_2F$
	IMA2002-049	$(Mn,Ca)(Ce,REE)AlMnMn(Si_2O_7)(SiO_4)O(OH)$
ديساكيسيت(لانثانم)	Dissakisite-(La)	$(Ca,Fe,Th)(REE,Ca)(Al,Cr,Ti)_2(Mg,Fe,Al)(SiO_4)(Si_2O_7)O(OH,F)$:La>Ce
	IMA2004-015	$(Mn,Ca)(REE)VAlMn(Si_2O_7)(SiO_4)O(OH)$

الأمريكية تحت عنوان معادن الإبيدوت. تناول هذا الإصدار أحدث الإتجاهات فى دراسة معادن الإبيدوت وأهميتها الجيولوجية. بناءاً على ذلك توافر فى السنوات العشر الماضية قاعدة لبيانات الديناميكا الحرارية لمعادن الإبيدوت Thermodynamic database بالإضافة إلى المزيد من المعلومات عن بنية وظروف نشأة معادن هذه المجموعة. وفيما يلى نعرض لأهم المعلومات المتوفرة للأنواع الأكثر شيوعاً من معادن هذه المجموعة.

الإبيدوت Epidote



$Ca_2Al_2Fe^{3+}(SiO_4)(Si_2O_7)O(OH)$

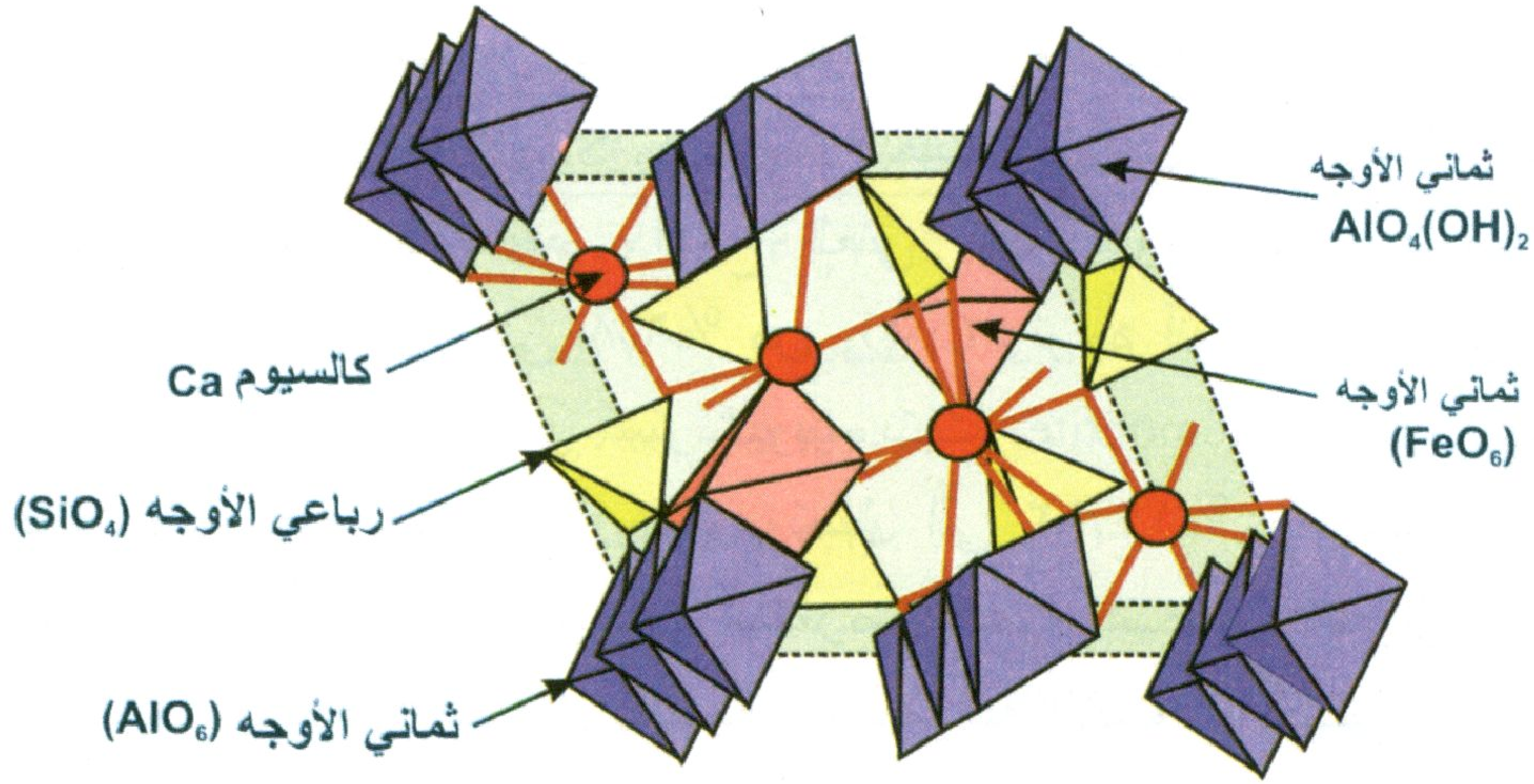
يكّون كل من الإبيدوت Epidote $Ca_2Al_2Fe^{3+}(SiO_4)(Si_2O_7)O(OH)$ والكلينوزوسيت Clinozoisite $Ca_2Al_3(SiO_4)(Si_2O_7)O(OH)$ والبيمونتيت Peimontite $Ca_2(Mn,Fe^{+3},Al)_2Al(SiO_4)(Si_2O_7)O(OH)$ سلسلة متشابهة الأشكال Isomorphous حيث يتشابه كل منها فى الشكل البلورى ويختلف فى التركيب الكيميائى. لذلك سيتم مناقشـــة الثلاث معـــادن مجتمعـــة فى هذا الجزء من البـــاب.

سُمي معدن الإبيدوت بهذا الاسم بناءً على الكلمتين الإغريقيتين Epi وDidonai والمعنى يأتى من الملاحظة بأن هذا المعدن غالبا مايكون أحد جوانب بلوراته أطول من الجوانب الأخرى هذا بالمقارنة مع معادن أخرى كالأمفيبول. البيستاكيت Pistacite هو اسم أخر للمعدن وتعتمد تسميته على لونه الأخضر المميز Pistachio green color (أنظر شكل ٣-٦). وعلى الرغم من أن بلورات الإبيدوت لا تعتبر من ضمن الأحجار الكريمة إلا أن البلورات التى تظهر هذا اللون الأخضر المميز توضع ضمن البلورات ذات الألوان الفريدة وتستخدم كأحجار للزينة. وسمى معدن بيمونتيت بهذا الاسم من منطقة بيدمونت بشمال غرب إيطاليا والمعدن له اسم أخر هو بيدمونتيت Peidmontite. وسمى الكلينوزوسيت بهذا الاسم نظراً لتبلوره فى فصيلة الميل الواحد وتشابه تركيبه الكيميائى مع الزوسيت.

البنية البلورية

يتبلور الإبيدوت فى فصيلة الميل الواحد، مجموعة النقطة 2/m. البلورات منشورية عادة لها إستطالة موازية للإتجاه {010}. يغلب على المعدن الهيئة الأليافية وأحيانا الكتلية. التوأمية موازية شائعة عند المستوى {100} وأقل شيوعا فى المستوى {001}. البنية فى معدن الإبيدوت معقدة نسبياً حيث تتكون من رباعى الأوجه المنفرد Single silicate tetrahedrons, SiO_4 ورباعى الأوجه المزدوج Double silicate tetrahedrons, Si_2O_7. يكتب التركيب الكيميائى للإبيدوت $Ca_2Al_2Fe^{3+}(SiO_4)(Si_2O_7)O(OH)$ بطريقة معينة تعكس تنظيم البنية الخاصة به حيث تكّون ذرتى الألومنيوم سلاسل متوازية من ثمانيات الأوجه AlO_6 و$AlO_4(OH)_2$ والتى توجد مرتبطة مع بعضها من خلال الأحرف وتتراص موازية للمحور البلورى "b". وينطبق هذا المحور على المحور ثنائى التماثل الوحيد فى الفصيلة. تكون هذه السلاسل المتوازية أساس البنية البلورية لمعدن الإبيدوت. ويرتبط ثمانى أوجه أخر منعزل بداخله ذرة حديد بأحد هده السلاسل. كما تعمل مجموعات السيليكات وأيونات أخرى على ربط هذه السلاسل مع بعضها البعض (شكل ٣-٢)، حيث يقع أيون الكالسيوم الكبير فى الفراغات مابين ثمانيات الأوجه للألومنيوم أو مابين ثمانيات الأوجه للحديد مع رباعى الأوجه السيليكاتى. ويرجع الشكل المنشورى (شكلى ٣-٣،٣-٤) إلى التوازى الموجود فى مستويات هذه السلاسل. ويوجد الإنفصام الكامل فى أماكن الروابط الضعيفة مابين هذه المستويات (شكل ٣-٣). تبلغ أبعاد خلية الوحدة بالمعدن أ=٨,٨٩، ب =٥,٦٢، ج= ١٠,٢٣ أنجستروم ويبلغ ماتمتلكه خلية الوحدة من الذرات (Z) = ٢.

يأخذ البيمونتيت نفس الشكل البلورى للإبيدوت حيث يتبلور المعدن فى فصيلة الميل الواحد، المجموعة الفراغية $P2_1/m$ وأبعاد خلية الوحدة فيه هى أ=٨,٨٤٣ و ب =٥,٦٦٥ و ج=١٠,١٥ أنجستروم ويبلغ ماتمتلكه خلية الوحدة أيضاً من الذرات (Z) = ٢ وتبلغ زاوية بيتا المنفرجة فيه والتى تميز



شكل ٣-٢: البنية البلورية لمعدن الأبيدوت.

فصيلة الميل الواحد ١١٤,٥ درجة. تأخذ البلورات شكل منشورى أو إبرى. وبالنسبة للكلينوزوسيت فيأخذ نفس الشكل البلورى لكل من الإبيدوت والبيمونتيت حيث يتبلور المعدن فى فصيلة الميل الواحد، المجموعة الفراغية $P2_1/m$ وأبعاد خلية الوحدة فيه هى أ= ٨,٨٧٩، ب= ٥,٦٨٣، ج = ١٠,١١٥ أنجستروم ويبلغ ماتمتلكه خلية الوحدة أيضاً من الذرات (Z)=٢ وتبلغ زاوية بيتا المنفرجة فيه ١١٥,٥ درجة. تأخذ البلورات شكل منشورى أو إبرى والتوأمية غير شائعة ولكن أحيانا يوجد النوع المتوازى فى الإتجاه {100}. وبمقارنة الصفات البلورية للمعادن الثلاث يتضح التشابه القريب جداً فى البنيات البلورية وأبعاد خلايا الوحدة فيما بينهم.

كيميائية المعدن

يتكون معدن الإبيدوت من سيليكات الألومنيوم والحديد والكالسيوم حيث يحل الحديد الثلاثى Fe^{+3} محل الألومنيوم. ويقع دائما التركيب الكيميائى لسلسلة معادن الإبيدوت-كلينوزوسيت Epidote- clinozosite مابين $Ca_2Al_3(SiO_4)(Si_2O_7)O(OH)$ و $Ca_2Al_2Fe^{3+}(SiO_4)(Si_2O_7)O(OH)$. كما أن هناك أنواع أخرى من الإبيدوت تحتـوى على المنجنيـز يقع تركيبها ما بين $Ca_2Fe^{3+}(SiO_4)(Si_2O_7)O(OH)$ ، $Ca_2Mn^{+3}Al_2(SiO_4)(Si_2O_7)O(OH)$ ، $Ca_2Mn_2^{+3}Al(SiO_4)(Si_2O_7)O(OH)$. ويوجد أيضاً أنواع أخرى غنيه

بالإسترونشيوم والرصاص مثل هانكوكيت Hancockite وتركيبه الكيميائى هو $(Ca_{1.1}Mn_{0.2}Sr_{0.2}Pb_{0.5})Fe^{+3}Al_2Si_3O_{12}$ حيث يحل كل من الإسترونشيوم والرصاص محل الكالسيوم والنوع الغنى بالكروميوم واسمه تاوماويت Tawmawite ويحتوى على ٦,٨% من Cr_2O_3 وتوجد أنواع من البيمونتيت غنية بالإسترونشيوم تسمى سترنشيوبيمونتيت Strontiopiemontite حيث تحتوى على نسبة أكسيد إسترونشيوم تصل إلى ١٣,٨٣% ويتواجد كعروق صغيرة فى رواسب خام المنجنيز المتعرض لتحول منخفض الحرارة. يبين جدول (٣-٢) بعض التحاليل الكيميائية لمجموعة الإبيدوت (كلينوزوسيت- إبيدوت - بيمونتيت). فى تجارب الإذابة لمعدن الإبيدوت بواسطة الأحماض القوية مثل حامض النيتريك وحامض الهيدروكلوريك والأكواريجيا، وجد سنال وليلجيفورس (٢٠٠٠) Snäll and Liljefors أن الإبيدوت أكثر قابلية للإذابة من معـــادن أخرى مثل الهورنبلنـــد والبلاجيوكليز والروتيـــل وأقل قابليـــة من الإلمينيت والبيوتيت والكلوريت ووجدا أن الحديد هو أكثر عناصر الإبيدوت ذوباناً يليه الألومنيوم فالكالسيوم.

معـــادن الإبيدوت ذات أهميـــة جيوكيميائية فى معرفـــة نشأة الصخـــور وإعطـــاء معلومات مفيـــدة عن حالـــة التأكسد للصخور الحاويـــة عليها (ليبشيـــر وفرانـــز Liebscher and Frantz,٢٠٠٤). إقترح مياشيرو وسيكى Miyashiro and Seki (١٩٥٨) أن التركيب الكيميـــائى للإبيدوت يتـــأثر بدرجـــة التحول، فعـــلى سبيـــل المثـــال وجـــدا أن نسب $Fe^{3+}/(Fe^{3+}+Al)$ فى معـــدن الإبيدوت المتكون تحت ظروف سحنة البيمبيـــلليت-البريهنيت تبلـــغ حوالى ٠,٣٣ وتزيـــد هذه النسبة مع زيادة درجـــة الحرارة. أيد بعض الباحثيـــن لاحقـــا هذا الإقتراح مثل أسيديـــو وأخرين (٢٠٠٠) Asiedu et al. إلا أن أخريـــن لم يتوصلوا لمثل هذه العلاقـــة فى الصخور المتحولـــة مثل بيرسدورفيـــر وداي (١٩٩٥) Beiersdorfer and Day. إستخـــدم شبيجـــل وأخرون (٢٠٠٢) Spiegel et al. تحاليـــل العناصر الشحيحـــة فى معدن الإبيدوت الفتاتى من رواسب مختلفـــة فى التعرف على مصدر الصخور الحاوية عليه Provenance، وقد توصلوا فى هذه الدراســـة

جدول ٣-٢: بعض التحاليل الكيميائية لمعادن الإبيدوت والكلينوزوسيت والبيمونتيت

الأكسيد	١	٢	٣	٤	٥	٦
SiO_2	٣٩,٠٨	٤٠,٣٦	٣٦,٩٢	٣٩,٠٣	٣٦,٦٣	٣٧,٣١
TiO_2	---	٠,٠٩	شحيح	٠,٧٧	٠,٢١	٠,٠٦
Al_2O_3	٣٠,٩٦	٣٠,٦٧	٢٢,٢٥	٢٩,٧٦	١٧,٢١	١٨,٢
Fe_2O_3	٤,١٣	٠,٦١	١٥,٢١	٤,٦٤	٦,٨٥	٨,٤٦
Mn_2O_3	--	--	--	--	١٧,٧٨	١٢,٣٣
FeO	٠,٤٢	١,٧٧	٠,٥٧	--	--	--
MnO	٠,٠١	--	٠,٧٥	٠,٢٦	--	١,٨٩
MgO	٠,٠١	٠,٧٤	شحيح	٠,٦٨	٠,٨٥	--
CaO	٢٣,٣٢	٢٢,٦٢	٢٣,١١	٢١,٩٥	١٨,٩٨	٢٠,٦٤
Na_2O	--	--	--	٠,٠٢	--	٠,٦٧
K_2O	--	--	--	٠,٠٨	--	٠,٣٠
H_2O^+	١,٨٦	٣,٥٠	١,١٦	١,٩٥	١,٧٥	٠,١٤
H_2O^-	٠,٠١	--	٠,١٦	--	--	--
المجموع	٩٩,٨	١٠٠,٣٦	١٠٠,١٣	٩٩,١٤	١٠٠,٢٦	١٠٠,٠٠

تحليل١: كلينوزوسيت من عرق Vein في الأمفيبوليت (جونستون ١٩٤٩ Johnston)

تحليل٢: كلينوزوسيت من كالافيا ،فنلندا (٢٠٠١)
http://rruff.geo.arizona.edu/doclib/hom/clinozoisite.pdf

تحليل ٣: إبيدوت من عرق فى البيجماتيت باليابان (يوكوياما ١٩٥٧ Yokoyama)

تحليل٤: إبيدوت من توناليت كالسقلوي (شميدت وطومسون ١٩٩٦ Schmidt and Thompson)

تحليل٥: بيمونتيت من البيجماتيت من الهند (بيلجرامى ١٩٥٦ Bilgram)

تحليل٦: بيمونتيت من سانت مارسيل بإيطاليا http://webmineral.com/data/Piemontite.shtml

إلى إمكانية إستخدام تركيزات كل من الثوريوم والنيوبيوم والروبيديوم واليورانيوم والباريوم والزنك والتنجستين فى التمييز فيما بين الصخور المختلفة للمصدر. وعلى الرغم أن معظم هذه العناصر لها قابلية للذوبان إلا أن نسبة الفاقد من هذه العناصر فى معادن الإبيدوت الفتاتية لم يؤثر على إستخدامها فى معرفة صخور المصدر وقد

تم التأكد من ذلك بمضاهاة نتائج هذه العناصر مع نتائج نظائر الإسترونشيوم والنيوديميوم (Sr&Nd isotopes) فى نفس العينات.

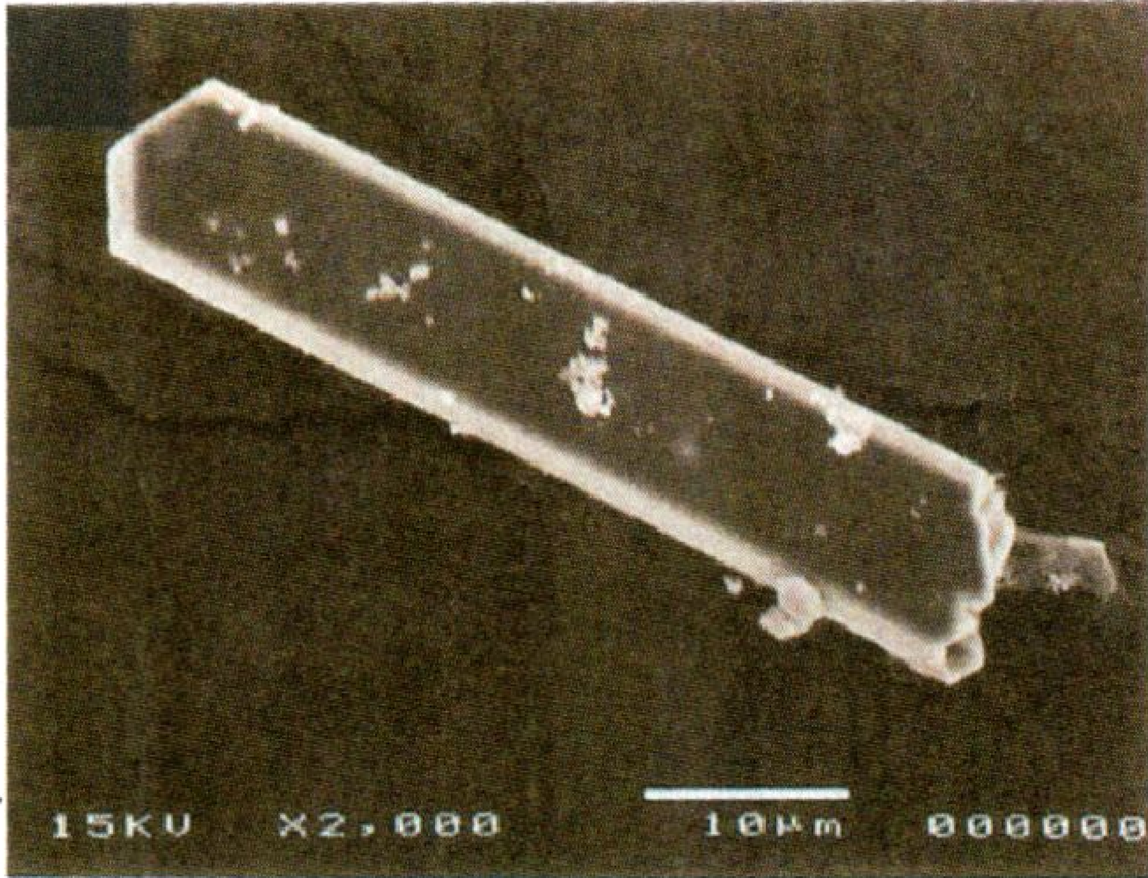
الصفات الفيزيائية والبصرية

يتحكم التركيب الكيميائى لمجموعة الإبيدوت (كلينوزوسيت-إبيدوت-بيمونتيت) إلى حد كبير فى الصفات الفيزيائية والبصرية لها فتزداد الكثافة بزيادة تواجد الحديد والمنجنيز وتزداد معاملات الانكسار الثلاثة بزيادة إحلال الحديد Fe^{+3} محل الألومنيوم. ويأخذ معدن الإبيدوت ألوان متعددة منها اللون الأخضر والأخضر الباهت والأصفر والأصفر المخضر والأسود المخضر. البريق غالباً لؤلؤى وأحياناً صمغى والمعدن شفاف إلى معتم. الصلادة من ٦ إلى ٧ والإنفصام كامل عند المستوى {001} وغير كامل عند {100} (أشكال ٣-٣ إلى ٣-٦). المكسر غير مستوى والتماسك صلب Brittle tenacity ويتراوح الوزن النوعى المقاس من ٣,٣٨ إلى ٣,٤٩ والمحسوب يتراوح من ٣,٣٩١ إلى ٣,٤٦٤. تبلغ معاملات الانكسار ألفا (α) من ١,٧١٥ إلى ١,٧٥١ و بيتا (β) من ١,٧٢٥ إلى ١,٧٨٤ و جاما (γ) من ١,٧٣٤ إلى ١,٧٩٧ وقرينة الانكسار المزدوج (δ) من ٠,٠١٥- ٠,٠٤٩ وتتراوح الزاوية البصرية ($2V$) مابين ٩٠-١١٦ درجة. ويبين شكل (٣-٧) العلاقة مابين المحاور البلورية a, b, c ومحاور مجسم معامل الانكسار X, Y, Z فى بلورة لمعدن الإبيدوت كما يظهر فى الشكل أيضاً إتجاه المحوريين البصريين OA.

من ناحية أخرى يتميز معدن البيمونتيت باللون الأحمر والأصفر والبنى المحمر والأسود المحمر ومن ناحية الشفافية فالمعدن نصف شفاف والمخدش أحمر. يأخذ المعدن الهيئة الكتلية أو الإبرية والبلورات منشورية (شكل ٣-٨). الصلادة من ٦ إلى ٧ والإنفصام مميز فى الإتجاه {100} وجيد فى الإتجاه {001}. والوزن النوعى يتراوح من ٣,٤٥ إلى ٣,٥٢.



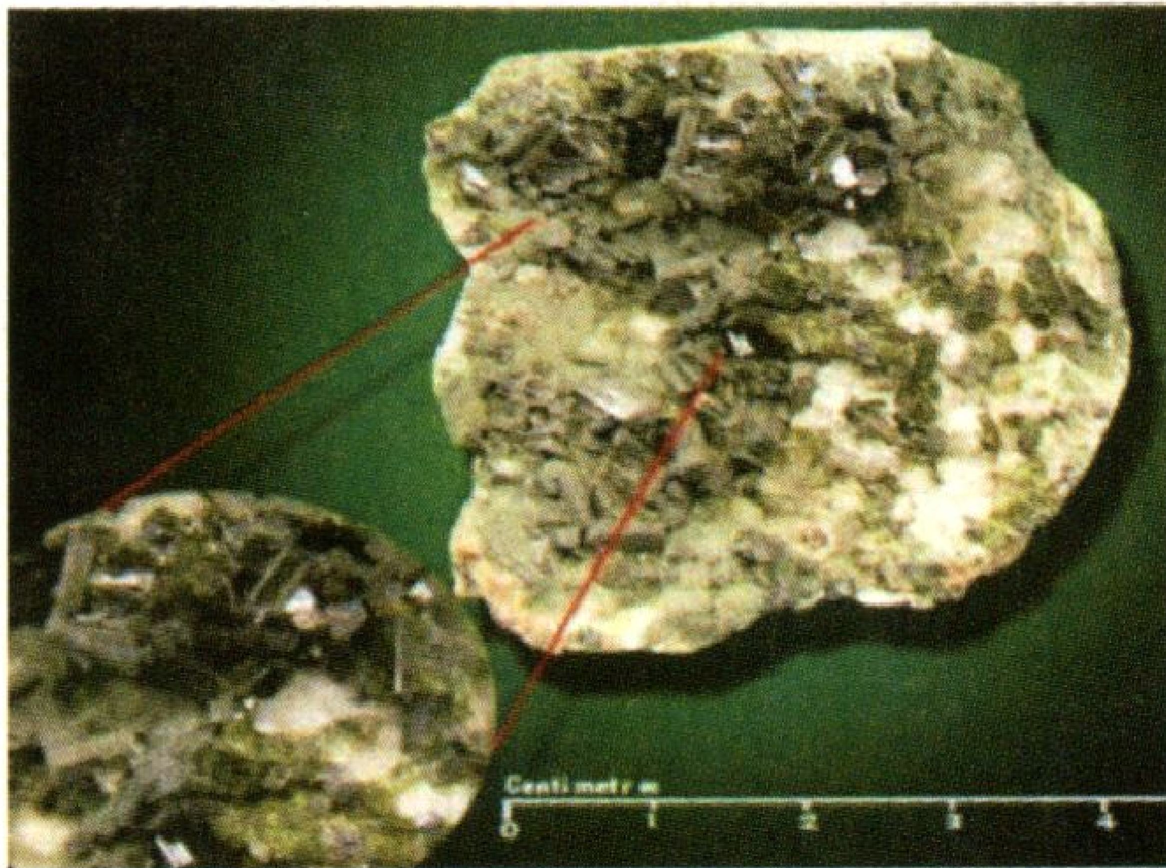
شكل ٣-٣: صورة فوتوغرافية لبلورات منشورية من معدن الإبيدوت، يظهر الإنفصام موازى لإتجاه الإستطالة. كما تظهر بلورات مصاحبة من معدن الكوارتز، ابعاد العينة ٩X٨ سم، الأسكا. Prince of Wales Island, Alaska



شكل ٣-٤: صورة مأخوذة بالمجهر الماسح لبلورة إيبدوت منشورية الشكل بأبعاد ٥٠X١٠ ميكروميتر(ناجاشيما ٢٠٠٦ Nagashima)

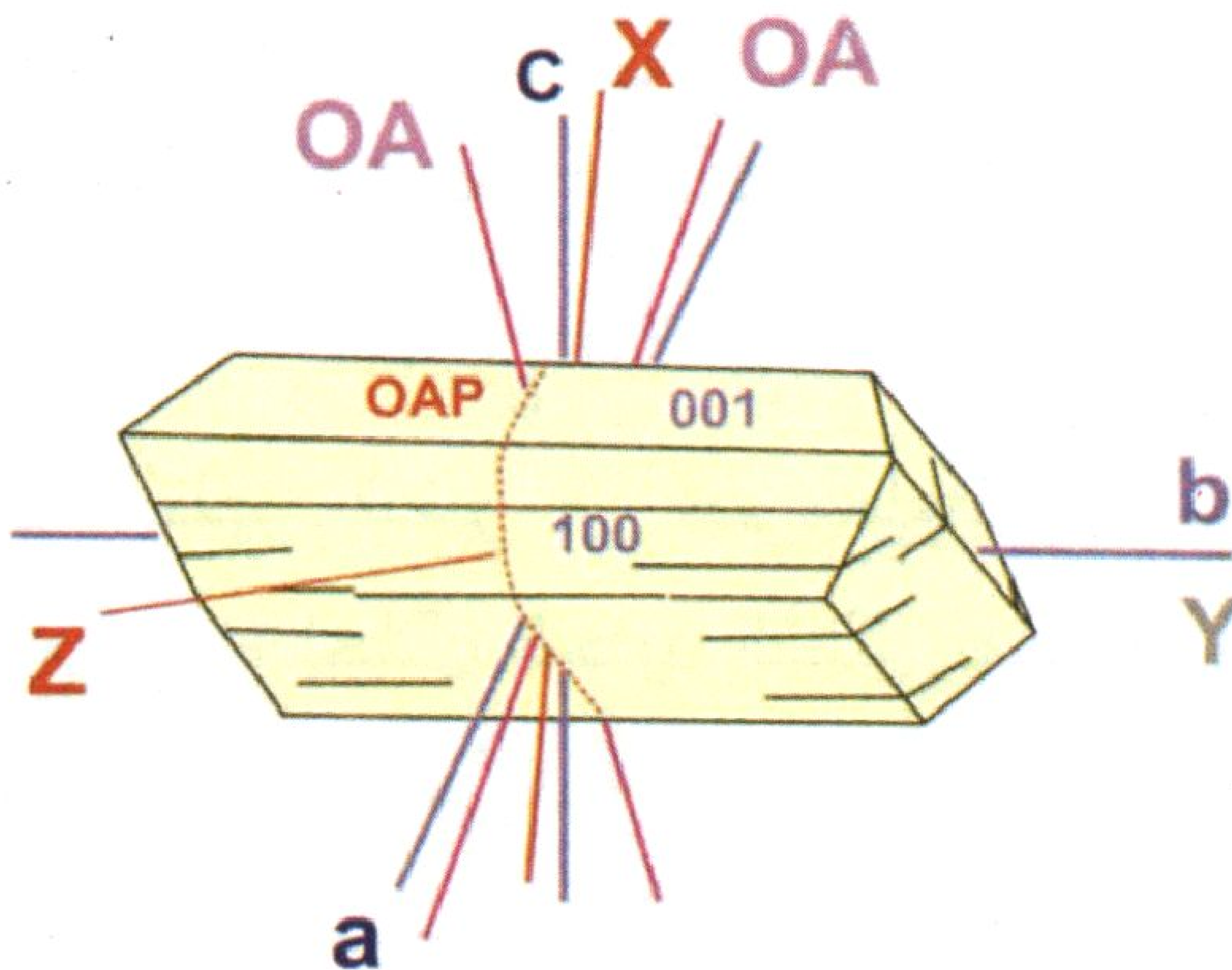


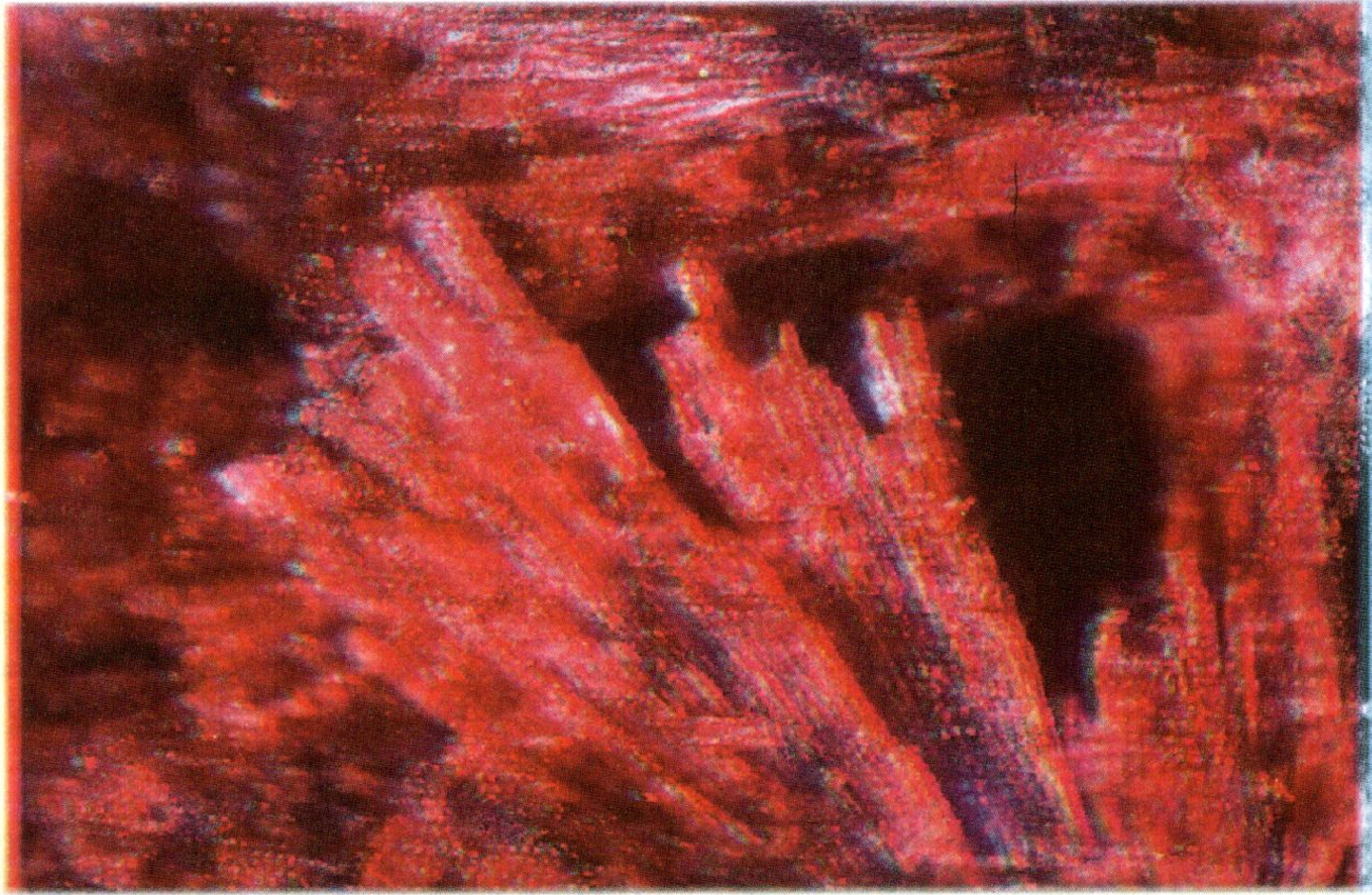
شكل ٣-٥: بلورة واحدة منشورية من معدن الإبيدوت تظهر تخطيط مميز للمعدن Striations. منطقة داكيستان بأذربيجان.
http://www.wildaboutrocks.com/prod2439.htm



شكل ٣-٦: بلورات منشورية قصيرة من معدن البيستاكيت ذات لون أخضر مميز مترسبة على معدن الأورثوكليز. منطقة ترافيرسيلا بايطاليا Traversella, Piedmont, Italy
http://www.wildaboutrocks.com/prod2140.htm

شكل ٣-٧: العلاقة مابين المحاور البلورية a, b, c ومحاور مجسم معامل الإنكسار X, Y, Z فى بلورة لمعدن الإبيدوت كما يظهر فى الشكل إتجاه المحورين البصريين OA. OAP = المستوى المحورى البصري (Optic Axis Plane).

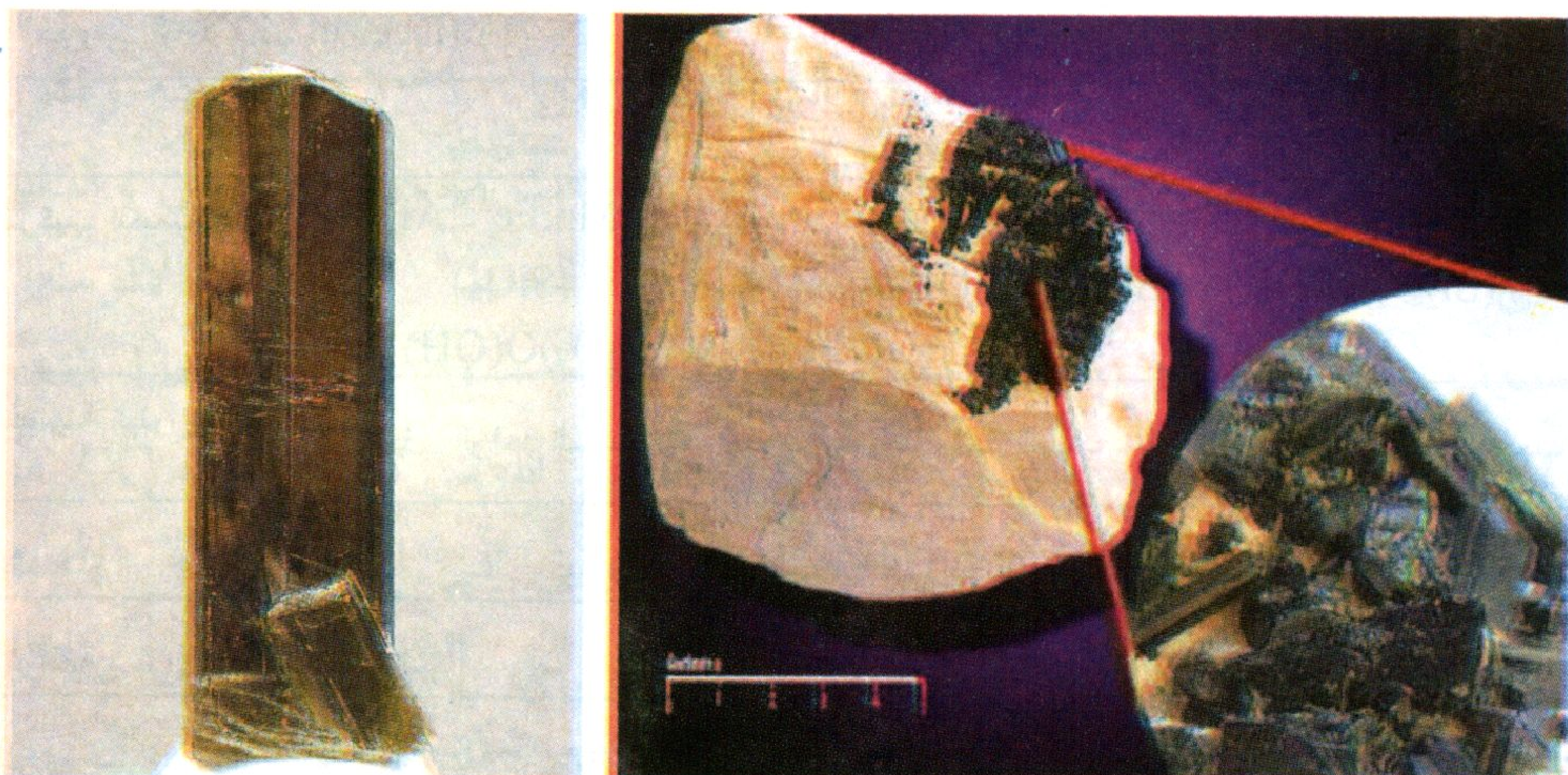




شكل ٣-٨: تجمعات بلورية إبرية حمراء اللون من البيمونتيت منطقة منجم شوانينج بجنوب أفريقيا. http://webmineral.com/data/Piemontite.shtml

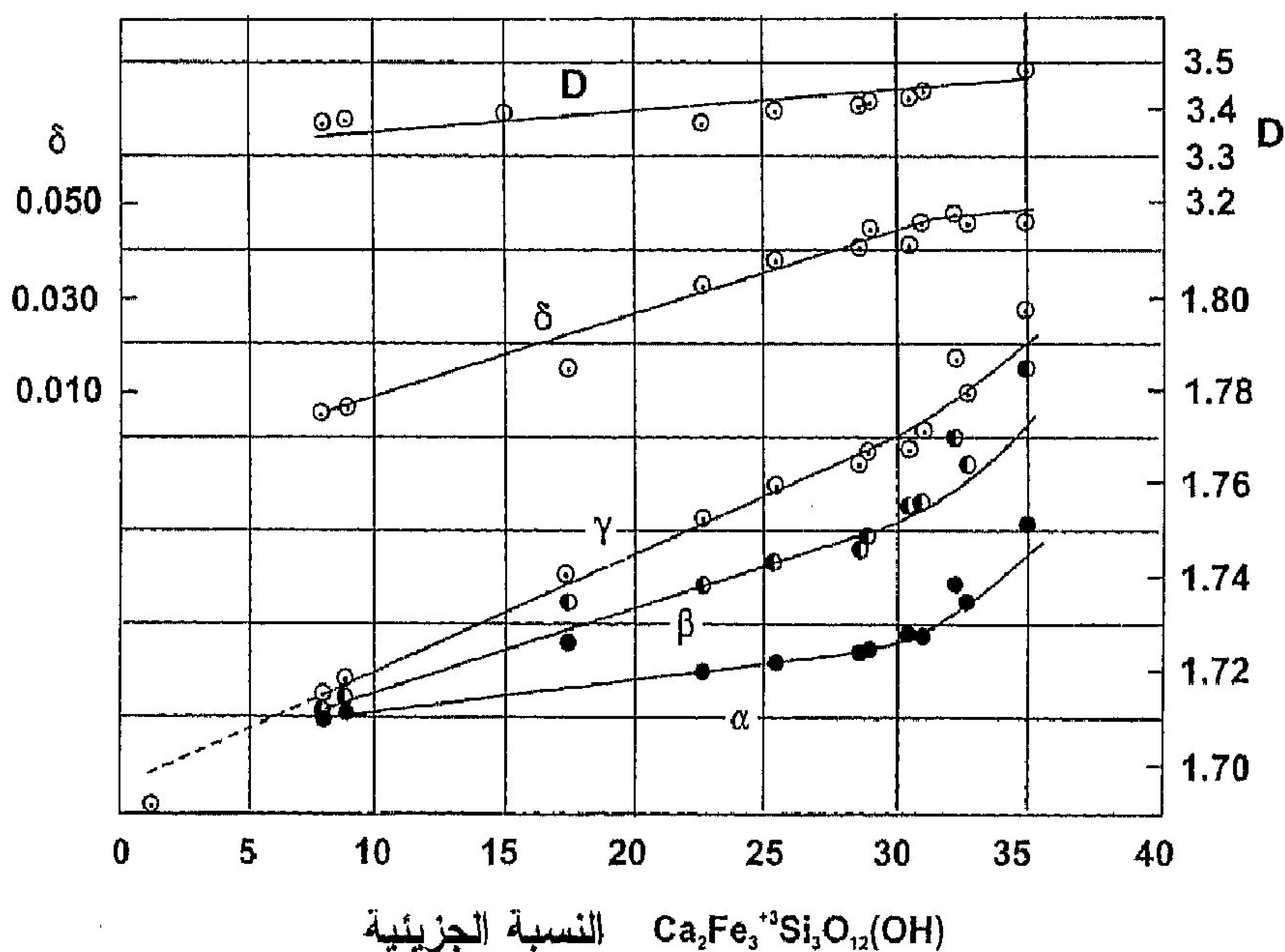
يتميز الكلينوزوسيت بأنه عديم اللون أو أصفر فاتح أو أحمر أو رمادى أو أخضر أو بنى والمعدن شفاف إلى نصف شفاف. يأخذ المعدن الهيئة الإبرية والبلورات منشورية الشكل (شكلى ٣-٩،٣-١٠). الصلادة تساوى ٦,٥ والإنفصام كامل فى الإتجاه {001} وجيد فى الإتجاه {001}. المكسر غير مستوى ويتراوح الوزن النوعى من ٣,١٢ إلى ٣,٣٨. يلاحظ من هذه البيانات أن هناك تفاوت فى الوزن النوعى فى المعادن الثلاثة ويرجع سبب هذا التفاوت والذى يتعدى قيمته ٠,١ فى الإبيدوت إلى وجود علاقة طردية مابين الوزن النوعى وزيادة تركيز كل من الحديد والمنجنيز وإحلالهما داخل بنية المعدن (شكل ٣-١١). يوضح جدول (٣-٣) المقارنة فى الصفات الفيزيائية والبصرية لمعادن الإبيدوت-كلينوزوسيت.

يُظهر التغير فى قيم معاملات الانكسار فى هذين المعدنين علاقة طردية مع زيادة إحلال الحديد الثلاثى محل الألومنيوم فى المدى ما بين ٧ إلى ٣٥ من النسبة الجزيئية $Ca_2Fe^{3+}Si_3O_{12}(OH)$ (شكل ٣-١١). يتضح من هذا الشكل أن معاملات الانكسار الثلاثة γ, β, α تزيد بإستمرار مع زيادة النسبة



شكل ٣-٩: بلورات إسطوانية متداخلة ومتجمعة من الكلينوزوسيت على معدن الأرثوكليز. منطقة جيلجيت بباكستان Gilgit, Pakistan.
http://www.wildaboutrocks.com/prod1645.htm

شكل ٣-١٠: بلورة منشورية بنية اللون من الكلينوزوسيت بأبعاد ١,٢X٢,٣X٧ سم من منطقة الشوري بباكستان.
Alchuri, Shigar Skardu district, Pakistan



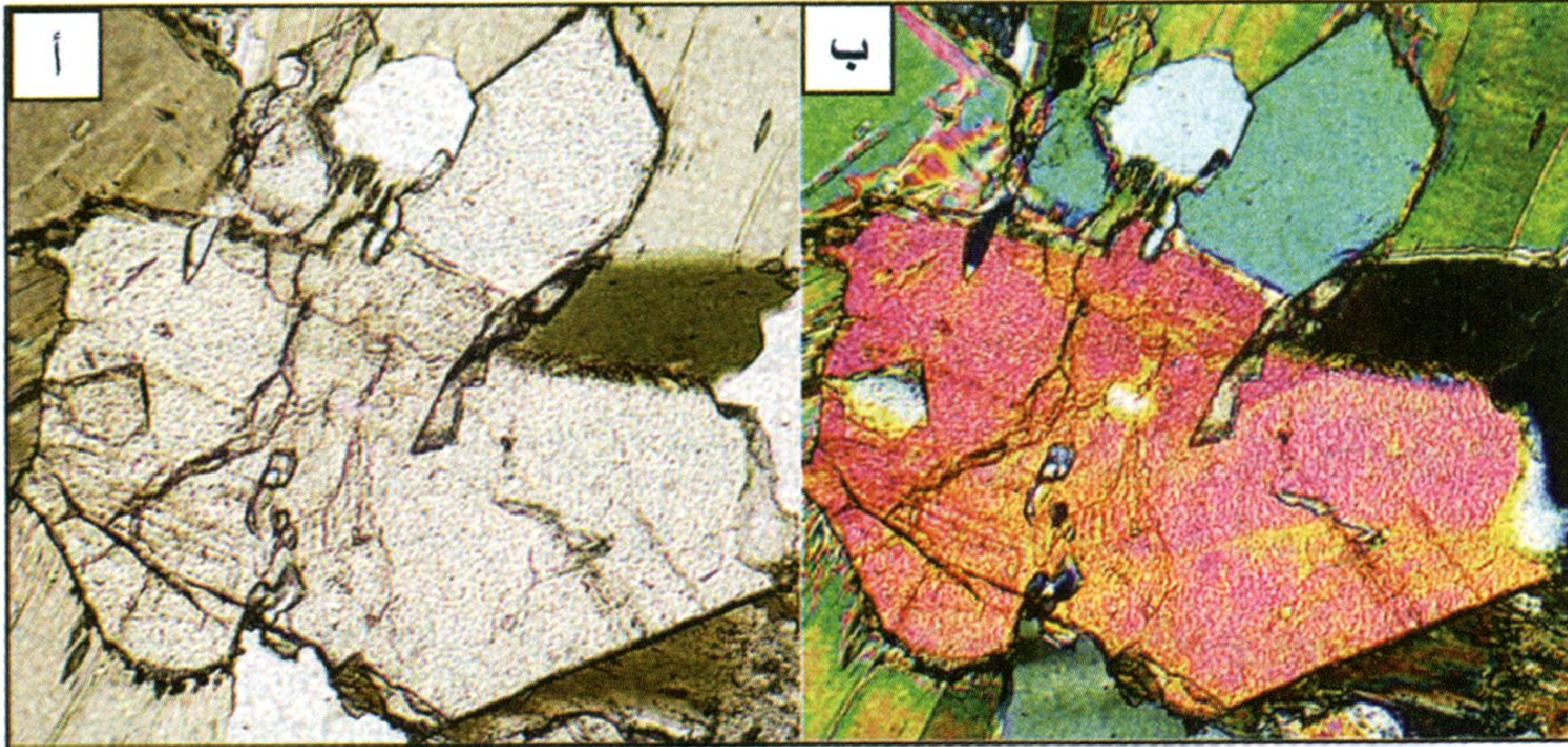
شكل ٣-١١: العلاقات الطردية مابين النسبة الجزيئية (والتى تزيد بزيادة نسبة إحلال الحديد الثلاثى Fe^{+3} محل الألومنيوم) مع كل من قرينة الإنكسار المزدوج δ والكثافة D ومعاملات الإنكسار α, β, γ فى معادن الإبيدوت- كلينوزوسيت. (دير وأخرين ١٩٨٩ Deer et al.)

جدول ٣-٣: مقارنة الصفات الفيزيائية والبصرية لمعادن البيمونتيت والإبيدوت والكلينوزوسيت. (دير وأخرون ١٩٨٩ Deer et al.).

	بيمونتيت		إبيدوت	كلينوزوسيت
التركيب الكيميائى	$Ca_2(Mn,Fe^{+3},Al)_2Al$ (SiO_4) $(Si_2O_7)O(OH)$		$Ca_2Al_2Fe^{3+}$ (SiO_4) $(Si_2O_7)O(OH)$	$Ca_2Al.Al_2$ (SiO_4) $(Si_2O_7)O(OH)$
الفصيلة البلورية	الميل الواحد الموجب		الميل الواحد السالب	الميل الواحد الموجب
الإنفصام	كامل{001}			
التوأمية	{100}			
اللون	بنى محمر وأسود وبنفسجى إلى قرمزى فى القطاعات الميكروسكوبية		أخضر أو أصفر رمادى. أخضر ليمونى فى القطاعات الميكروسكوبية	عديم اللون إلى أصفر باهت رمادى وأخضر وهو عديم اللون فى القطاعات الميكروسكوبية
التغير اللونى	من الأصفر إلى الأحمر		عديم اللون إلى أصفر باهت إلى أخضر	------
معاملات الانكسار	١,٧٩٤-١,٧٣٢	α	١,٧٥١-١,٧١٥	١,٧١٥-١,٦٧
	١,٨٠٧-١,٧٥	β	١,٧٨٤-١,٧٢٥	١,٧٢٥-١,٦٧٤
	١,٨٢٩-١,٧٦٢	γ	١,٧٩٧-١,٧٣٤	١,٧٣٤-١,٦٩
قرينة الانكسار المزدوج δ	٠,٠٨٨-٠,٠٢٥		٠,٠٤٩-٠,٠١٥	٠,٠٠٥-٠,٠١٥
الزاوية البصرية $2V$	°٨٥-°٦٤		°١١٦-°٩٠	°٩٠-°١٤
الوزن النوعي	٣,٥٢-٣,٤٥		٣,٤٩-٣,٣٨	٣,٣٨-٣,١٢
الصلادة H	٦		٦	٦,٥

الجزيئية وهذه الزيادة واضحة أيضاً فى جدول (٣-٣) حيث يصل مدى معامل الانكسار ألفا (γ) فى الإبيدوت من ١,٧٣٤ إلى ١,٧٩٧ وهو أعلى من المدى فى المعامل المكافىء فى الكلينوزوسيت الخالى من الحديد حيث يصل إلى مابين ١,٦٩-١,٧٣٤. ويلاحظ أيضا من الجدول (٣-٣) أن إحلال الحديد الثلاثى محل الألومنيوم يكون مصاحباً مع زيادة فى الزاوية

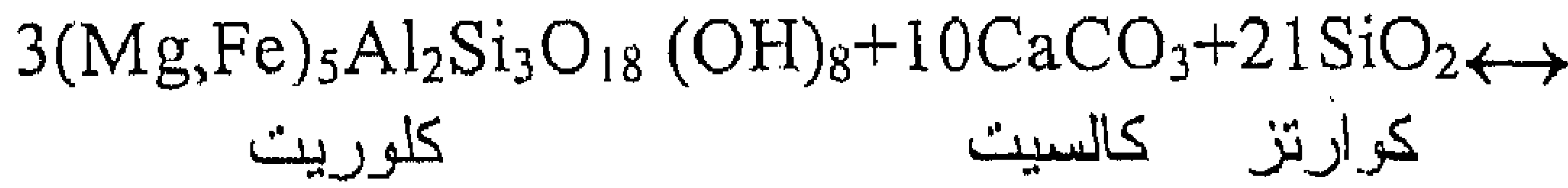
البصرية Optic angle حيث تتراوح فى الكلينوزوسيت فيما بين ١٤-٩٠ درجـــة وتزداد فى الإبيدوت لتصل إلى المدى من ٩٠-١١٦ درجة وتكون العلامة البصرية فى الإبيدوت سالبة والكلينوزوسيت موجبة. اللـــون والتغير اللونى أيضاً لهما علاقـــة مع إحـــلال الحديد الثلاثي↔الألومنيوم والمنجنيز↔الألومنيوم $Al \leftrightarrow Mn^{+3}$ & $Al \leftrightarrow Fe^{+3}$ ويلاحظ هذا التغير اللونى بالأخص فى البيمونتيت حيث يكون التغير اللونى فى الإتجاه "X" من الأصفر الباهت إلى الأصفر إلى الأصفر الليمونى إلى البرتقالى أو الأحمر وفى الإتجاه "Y" يكون من البنفسجى الفاتح إلى البنفسجى الوردى إلى الأحمر الغامق وفى الإتجاه "Z" يكون من البنفسجى الغامق إلى البنى المحمر إلى الأحمر وإلى الوردى. يظهر التغير اللونى أيضاً فى المعادن التى تحتوى على كميات صغيرة من المنجنيز Mn^{+3}. ومن الملاحظ أيضاً زيادة قرينة الانكسار المزدوج (δ) بزيادة إحلال الحديد الثلاثى محل الألومنيوم مما يؤثر بدوره على ألوان التداخل (شكل ٣-١١). يظهر الكلينوزوسيت ألوان تداخل غير عادية بالمقارنة بالإبيدوت والبيمونتيت (شكل ٣- ١٢).



شكل ٣-١٢: يوضح قطاع فى بلورة من معدن الإبيدوت فى صخر الجرانوديوريت الكلسقلوى. تحت المجهر المستقطب بتكبير ١٠٠ مرة. ا- فى وجود المستقطب فقط: المعدن عديم اللون مع تضاريس عالية والبلورة محاطة ببلورات أخرى من الميكا. ب- فى وجود المستقطب والمحلل: ألوان التداخل من الرتبة الثانية والثالثة حيث تزداد قرينة الانكسار المزدوج بزيادة تواجد الحديد الثلاثى.
http://www.union.edu/PUBLIC/GEODEPT/COURSES/petrology/ig_minerals.htm

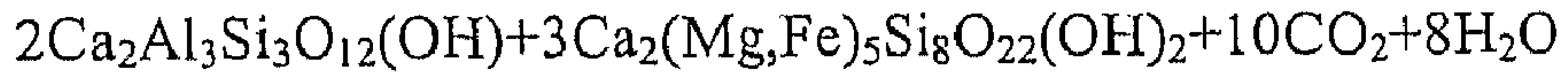
التواجدات والصحبة المعدنية

تتواجد معادن الإبيدوت أساساً فى صخور التحول الإقليمى حيث تنتشر فى صخور النيس والشيست بأنواعها المختلفة كما أن تكونها يحدد قمة التغير من سحنات الشيست الأخضر إلى سحنات الإبيدوت-أمفيبوليت. ويمكن تمثيل ذلك فى المعادلة



$$3(Mg,Fe)_5Al_2Si_3O_{18}(OH)_8+10CaCO_3+21SiO_2 \leftrightarrow$$

كوارتز كالسيت كلوريت

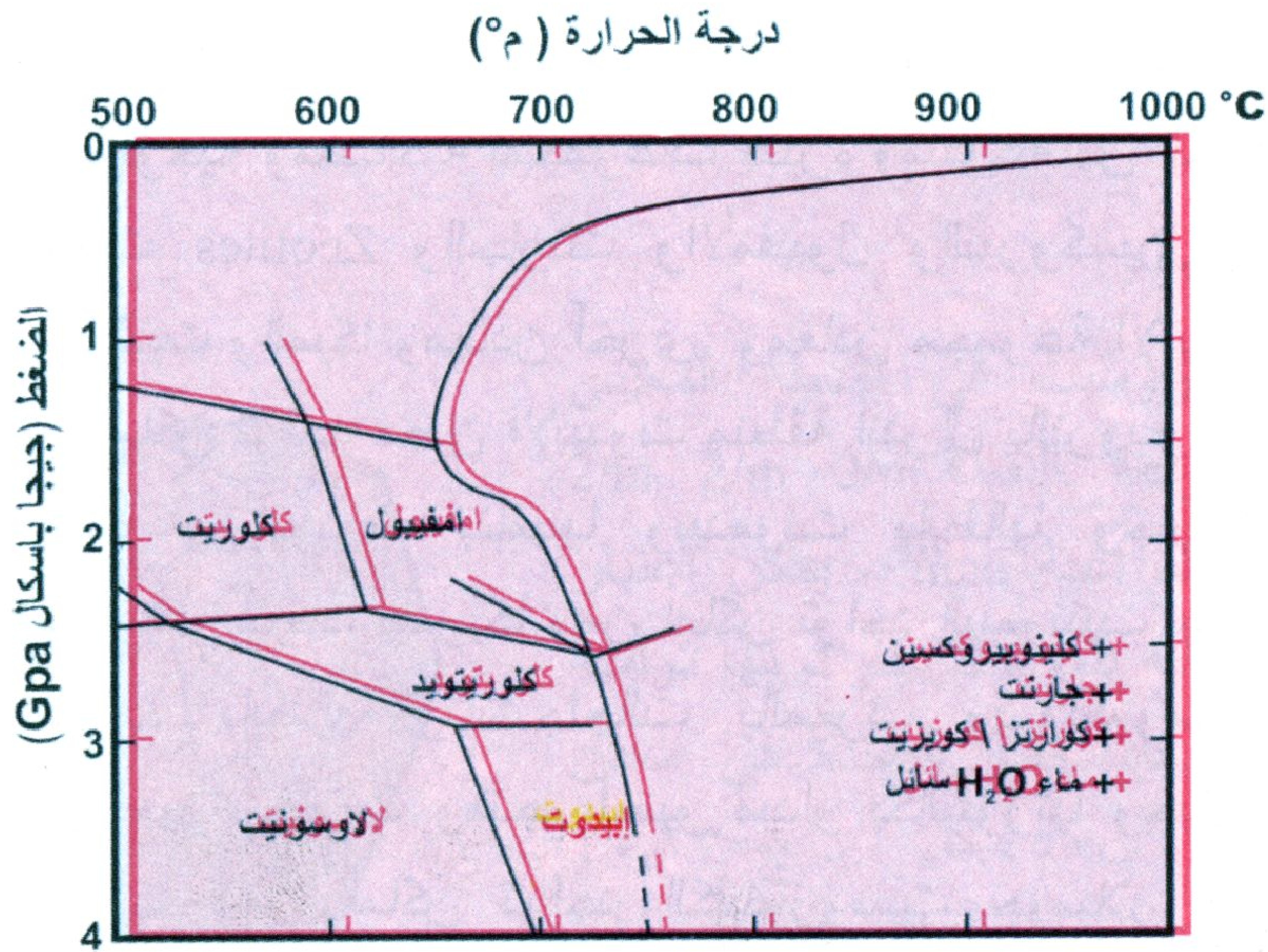


$$2Ca_2Al_3Si_3O_{12}(OH)+3Ca_2(Mg,Fe)_5Si_8O_{22}(OH)_2+10CO_2+8H_2O$$

أكتينوليت كلينوزوسيت

ويتكون الإبيدوت من جراء التفاعلات التراجعية Retrograde readjustments المصاحبة للتحول الديناميكى خاصة فى الصخور المافية. وبالرغم من أن تكوين الإبيدوت غالباً مايكون فى مناطق جهد القص Shear stress ودرجات الحرارة المنخفضة ولكنه أيضاً يتبلور فى غياب الضغط حيث يتكون أثناء التغاير بالمحاليل الحرمائية (مجموعة الساسوريت Saussurite) ويعتبر من المعادن الشائعة فى نطق التغاير Alteration zone على طول الشقوق والفواصل وفى الفجوات المؤثرة فى الصخور الحاوية على معادن الكالسيوم والألومنيوم مثل الفلسبارات والبيروكسين والأمفيبول والإسكابوليت والكلوريت والبيوتيت. كما يتواجد الإبيدوت فى صخر الحجر الجيرى المتبلور حيث يكّون أحياناً بمفرده صخر يسمى Epidosite. ويشيع تكّون الكلينوزوسيت فى الصخور النارية والرسوبية المتعرضة لتحول إقليمى منخفض إلى متوسط وفى الرواسب الغنية بالكالسيوم والمتعرضة لتحول تماسى Contact metamorphism وكناتج من تغاير معادن البلاجيوكليز. يتشابه تكوين البيمونتيت مع تكوين كل من الإبيدوت والكلينوزوسيت ولكنه أقل شيوعاً حيث يتبلور عند درجة من الضغط أقل ويتواجد فى الصخور التابعة لسحنة الشيست الأزرق والشيست الأخضر. ويوجد البيمونتيت الغنى بالمنجنيز مصاحباً لرواسب المنجنيز ويتكون من التحول السائلى Metasomatism.

يوضح شكل (٣-١٣) أماكن التواجدات النسبية لمعادن الإبيدوت بالإضافة إلى معادن أخرى كالأمفيبول والكلوريت فى صهير بازلتي متغاير بدرجة بسيطة من عرف وسط محيطي وذلك بالنسبة لكل من الضغط والحرارة. يتضح من هذا الشكل أن ظروف إستقرار معادن الإبيدوت فى هذا الصهير تقع مابين ٢,٩ و٤ جيجا باسكال ودرجة حرارة مابين ٦٥٠ و٧٥٠ درجة مئوية تقريباً.



شكل ٣-١٣: يبين الحقول المختلفة لبعض المعادن فى صهير بازلتي من عرف وسط محيطي بناءاً على درجة الحرارة والضغط.
Pawley and Holloway 1993, Poli and Schmidt 1994 and Schmidt and Poli 1998.

من جهة أخرى أثبتت دراسات عديدة أن الإبيدوت يكون مستقراً عند ضغط ٢٠٠ ميجاباسكال وتحت تركيز عالى من الأكسيجين (ليوى ١٩٧٣ Liou). كما أن الإبيدوت المتكون فى أعماق ضحلة نسبياً تبلغ عدة عشرات من الكيلومترات يكون الضغط السائد أقل من ١٠٠ ميجا باسكال ودرجة الحرارة أقل من ٢٠٠ درجة مئوية. تتكون معادن الإبيدوت عند هذا الضغط المنخفض منفصلة عن بعضها البعض وليست كطور واحد (بيرد وشبيلر

(Bird and Spieler ٢٠٠٤). وقد تمكن ناجشيما (٢٠٠٦) Nagashima لاحقاً من إثبات إمكانية تكون الإبيدوت كطور أو كمعدن واحد Single phase تحت هذا الضغط المنخفض وذلك فى حالة تواجد مصادر مناسبة للحديد الثلاثى Fe^{+3} والتى تلعب دوراً هاماً فى عدم إعادة تبلور الهيماتيت Fe_2O_3. وقد وجد ناجشيما أن الحرارة والضغط وتوافر الأكسيجين من العوامل الهامة التى تتحكم فى تكوين وتواجد معادن الإبيدوت.

من هذا يتضح أن هناك مدى واسع من الضغط والحرارة مناسباً لتكوين معادن مجموعة الإبيدوت مما أدى إلى تواجد هذه المعادن فى العديد من الظروف الجيولوجية ومصاحبة لمجموعات كثيرة ومتنوعة من المعادن، مثل معادن الزيوليت Zeolites والجارنت والأمفيبول والبيروكسين والكلوريت والكوارتز والألبيت والميكا ومعادن أخرى. ومعادن مجموعة الإبيدوت شائعة الإنتشار فمن أماكن تواجد معدن الإبيدوت منطقة أندرال بالنرويج وبورج دى أوسيان بفرنسا وريهوبوث بناميبيا وبيدمونت بإيطاليا وجارنت هيلس بكاليفورنيا وبامليكو بنيفادا بأمريكا ومن أماكن تواجد البيمونتيت منجم برابونا بمنطقة بيدمونت بإيطاليا وتاتشجاجالت بالمغرب وبوولكووماتا بجنوب استراليا وفى بحيرة جارنت ومنجم أجنيو ميداو بكاليفورنيا وجبال توسكان بأريزونا بأمريكا ومن أماكن تواجد الكلينوزوسيت جوسلارواند بتيرول بالنمسا وأندرال بالنرويج وسيتامبوندي بمدراس بالهند وبيلفيدرى وفيرمونت بالولايات المتحدة الأميريكية وتيمينس بأونتاريو بكندا.

الاستخدامات

بالإضافة لإستخدام بلورات الإبيدوت خاصة البيستاكيت كحجر للزينة، يستخدم الكلينوزوسيت كمادة مثبتة لثانى أكسيد الكربون فى عمليات تكرير البترول ويستخدم أيضاً فى تحسين صناعة النسيج كما تستخدم بعض أنواعه كحجر للزينة من خلال قطع بلوراته الملونه بألوان خضراء أو صفراء فى اتجاهات معينة. تفاصيل استخدامات هذه المعادن متاح على الموقع الإلكترونى: http://www.dclminsociety.net/motm/motm_dec2005.htm

Zoisite الزوسيت

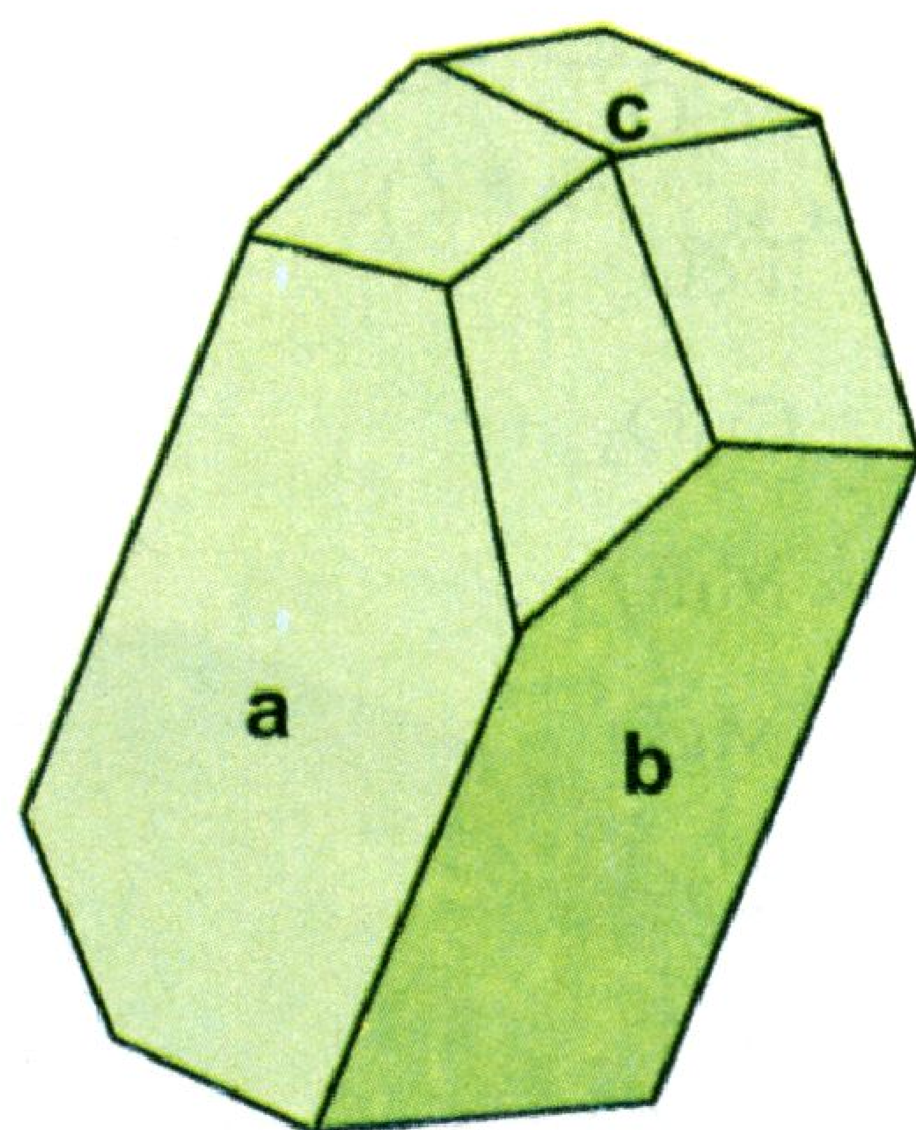


$Ca_2Al.Al_2O.OH(Si_2O_7)(SiO_4)$

قديماً كان يطلق على المعدن اسم ساوالبيت Saualpite حيث تم إكتشافه للمرة الأولى عام ١٨٠٥ فى جبال ساو-ألب بالنمسا Sau-Alp Mountains of Austria ثم سمى المعدن زوسيت تخليداً لأحد جامعى المعادن النمساوى الجنسية وهو فون زويس Von Zois (١٧٤٧-١٨١٩). ومن أشهر أنواع الزوسيت النوع المسمى تنزانيت Tanzanite والذى أُكتشف فى تنزانيا عام ١٩٦٧ ويستخدم كحجر كريم.

البنية البلورية

يتبلور الزوسيت فى فصيلة المعينى القائم ومجموعة النقطة 2/m 2/m 2/m والمجموعة الفراغية *P*nma. يمكن إعتبار الزوسيت وكأنه بلورة للإبيدوت بها توأمية حيث تبلغ أبعاد خلية الوحدة فى معدن الزوسيت: ب=٥,٤٥، ج=١٠,١٣ أنجستروم وهى تساوى تقريباً أبعاد خلية الوحدة لمعدن الإبيدوت فى هذين البعدين (ب= ٥,٦، ج= ١٠,٢ أنجستروم) ويبلغ البعد "أ" ١٦,١٩ أنجستروم والذى يساوى 2a sin β لمعدن الإبيدوت. هذه العلاقة الرياضية نجدها أيضاً فى ما بين معادن البيروكسين المعينى والمائل والأمفيبول المعينى والمائل. والزوسيت له نفس التركيب الكيميائى للكلينوزوسيت ولكنه يتبلور عند درجة حرارة أعلى ويأخذ شكل بلورى مختلف لذلك فهو متعدد شكلى له Diamorph. مقدار ما تمتلكه خلية الوحدة من الذرات (Z)=٤. البلورات تأخذ شكل عمدانى أو منشورى (شكل ٣-١٤).



شكل ٣-١٤: بلورة معينى قائم لمعدن الزوسيت

كيميائية المعدن

هناك إختلاف طفيف في التركيب الكيميائى مابين الزوسيت والإبيدوت، ويرجع هذا الإختلاف إلى زيادة نسبة الحديد في الإبيدوت. أظهرت العديد من الدراسات أنه يمكن فهم جيوكيميائية وسلوك العناصر الشحيحة Trace elements فى الصخور المتكونة تحت ضغط عالى من خلال معرفة تأثير التركيب الكيميائى لمعادن الإبيدوت ومن بينها الزوسيت. كما ساعد

جدول ٣-٤: التحليل الكيميائى للزوسيت.

الأكسيد	١	٢	٣
SiO_2	٣٩,١٦	٣٩,٥٥	٣٨,٣٥
TiO_2	٠,٠٠١	--	٠,٠٢
Al_2O_3	٣٣,٥	٣٣,٣٩	٢٧,١٨
Fe_2O_3	١,٧٥	٠,٠٤	٨,٦٧
FeO	٠,٣٣--	١,٧٧	
Cr_2O_3	٠,٠١٤	--	٠,١
MnO	--	--	٠,٣
MgO	--	٠,٠٧	٠,٢
CaO	٢٥,٠٢	٢٤,٤٤	٢٣,٢٨
SrO	--	٠,٠٥	--
V_2O_3	٠,٥٧	٠,٢٠	--
H_2O^+	٠,٠٦	٢,٠٠	لم تحلل
H_2O^-		--	لم تحلل
المجموع	١٠٠,٤	٩٩,٧٤	٩٧,٥٠

تحليل ١: زوسيت من أمفيبوليت ،تانجانيقا (جام ١٩٥٤ Game)

تحليل ٢: زوسيت من وادى أومبا بتنزانيا (٢٠٠١)

http://www.minsocam.org/msa/handbook

تحليل ٣: زوسيت من جابرو متحول metagabbro منطقة سندرا شمال غرب الهند (باندت وأخرين ٢٠٠٣ Pandit et al.).

التقدم فى استخدام التحاليل الدقيقة كاستخدام المسبار الإلكترونى فى إيضاح دور معادن الإبيدوت في الكشف عن معلومات إضافية عن البيئات الجيولوجية التى تكونت فيها. ويبين الجدول (٣-٤) بعض التحاليل الكيميائية لمعدن الزوسيت. نلاحظ من التحاليل المعروضة بالجدول (تحليل ١و٢) إنخفاض نسب الأكاسيد كأكسيد الحديد الثلاثي والمنجنيز والماغنسيوم مما يعكس عدم شيوع الإحلال الذرى لهذه العناصر محل عنصرى الألومنيوم والكالسيوم. لكن باندت وأخرين (٢٠٠٣) Pandit et al. سجلوا نسب لأكاسيد الحديد ($Fe^{3+}+Fe^{2+}$) فى الزوسيت وصلت إلى ٨,٦٧% وذلك فى صخور مافية تركيبها الأساسى جابرو متحول من شمال غرب الهند حيث بلغت نسبة $Fe^{3+}/(Fe^{3+}+Al)$ من ٠,١٤- ٠,١٧ وقد أطلق عليه زوسيت حديدى Ferrian zoisite . وتوجد أنواع من الزوسيت تحتوى على المنجنيز مثل الثيوليت Thuolite والذى يسمى أحياناً روزالين Rosaline ونجد فى هذا النوع أن إحلال المنجنيز للكالسيوم لايتجاوز ٢% (دير وأخرين ١٩٨٩).

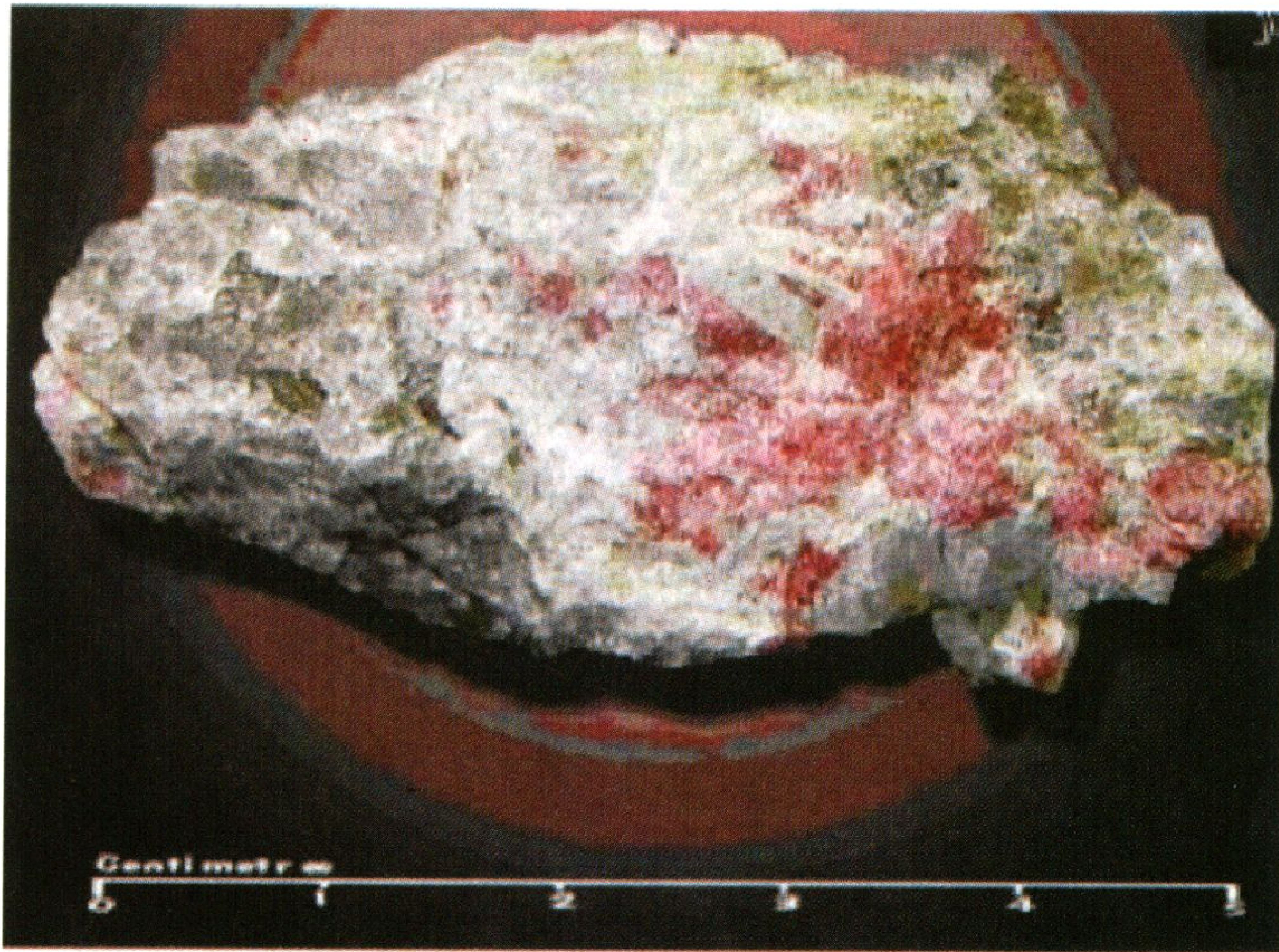
الصفات الفيزيائية والبصرية



شكل ٣-١٥: بلورة لمعدن الزوسيت من منجم ميريلانى بتنزانيا Merelani mines, Arusha, Tanzania

اللون رمادى أو أخضر أو بنى أو بنفسجى أو أبيض والبريق زجاجى والمخدش أبيض. تبلغ صلادة المعدن ٦ والإنفصام كامل عند المستوى {100} وغير كامل عند المستوى {001} والتوأمية غير متواجدة. المكسر محاري أو غير مستوى ويتراوح الوزن النوعى مابين ٣,١٥ إلى ٣,٢٧. الأشكال الشائعة هي العمدانية والمنشورية (شكل ٣-١٥). يمكن تمييز الزوسيت عن الكلينوزوسيت بالإنطفاء الموازى. تبلغ قيم معاملات الانكسار للمعدن كالتالى ألفا (α) = ١,٦٨٥-١,٧٠٥ وبيتا

(β) = ١,٧١٠-١,٦٨٨ وجاما (γ) =١,٦٩٧ -١,٧٢٥. على عكس التركيب الكيميائى الذى لايظهر إختلافات كبيرة مابين الزوسيت والإبيدوت، فإن الصفات البصرية تظهر تغييرات أكثر وضوحاً فيما بين المعدنين حيث يظهر الزوسيت أقل فى قرينة الانكسار المزدوج والتى تساوى ٠,٠٠٤- ٠,٠٠٨، كما أن الزوسيت عديم اللون فى القطاعات الرقيقة وبلوراته موجبه حيث تتراوح الزاوية البصرية ($2V$) ما بين ٠-٦٠°. الثيوليت من الأنواع الملونة لمعدن الزوسيت ويتميز بلونه الأحمر (شكل ٣-١٦).



شكل ٣-١٦: كتل غير منتظمة حمراء اللون من معدن الثيوليت Thullite منغمسة فى أرضية من الفلسبار الأبيض. تظهر بعض هذه الكتل أوجه مستوية. البريق الزجاجى واللون الأحمر أهم مايميز الثيولايت فى هذه العينة. من منطقة هيدمارك بالنرويج Elverum, Hedmark, Norway. http://www.wildaboutrocks.com/category33_1.htm.

التواجدات والصحبة المعدنية

الزوسيت من المكونات الأساسية للصخور المتحولة إقليمياً بدرجة متوسطة Medium grade regional metamorphism وغالباً مايكون الصخر الأولى ذا تركيب من المارل Marl ويتواجد الزوسيت فى

صخـــور الشيست وثانوياً فى الجرانويوليت مصاحباً للجارنت والبلاجيوكليز والبيوتيت والهورنبلند. ويتواجد المعـــدن أيضاً مع التحـــول الحرارى للحجـــر الجيرى غير النقـــى ويتواجـــد ثانوياً فى الإيكلـــوجيت الحامـــل للهورنبلنـــد. الزوسيت هو ناتج شائع من نتواتـــج التغاير بالمحاليـــل المائيـــة الحارة للبـــلاجيوكليز الصـــودى Saussuritization مع معـــادن أخـــرى مثل البلاجيوكليـــز الصودى والسيريسيت والكالسيت. وبوجـــه عام يعتبر الكالسيت والبيوتيت والهورنبلند والكورانـــدم والكوارتـــز والأندراديت جارنت Andradite garnet بالإضافة إلى معـــادن متحولـــة أخرى هى أهم المعادن التى توجد مصاحبة للزوسيت. من ناحيـــة أخرى فقـــد وجد معـــدن التنزانيت فى عروق البيجمـــاتيت بميرليانى هيلـــز بتنزانيـــا وقد دلت تحاليل المكتنفـــات المصاحبـــة له على إحتـــواء المحاليـــل المكونـــة للمعـــدن على هيدروكربـــون. من أهم أماكـــن تواجـــد الزوسيت داك تاون بتنيسيى بأمريكـــا وتروندهيـــم بالنرويج وكويبـــك بكنـــدا وتانجـــا وميرليانى هيلـــز بتنزانيا وأماكن أخرى فى كل من الهند وسويسرا والنمسا.

الاستخدامات

أُستخدم الزوسيت منذ عام ١٩٦٧ كحجر كريم حيث أُكتشف نوعيـــه من هذا المعدن فى تنزانيا لها ألوان زرقاء براقـــة سميت تنزانيت Tanzanite. كما توجد نوعيـــة أخرى تسمى أنيوليت Anyolite ذات ألـــوان خضـــراء مميزة تستخـــدم فى صناعـــة المجوهرات وللإطلاع على مزيد من المعلومات عن إستخـــدام الأنيوليت يمكن مراجعة الموقـــع الخـــاص بذلك وهو: www.jegem.com/1/singleProduct.aspx?SKU=AJR206890&r=redirected_from_AS وتستخـــدم النوعية الغنية بالمنجنيز وتسمى ثيوليت Thulite وهى ذات لون برتقالى أو أحمر كحجر للزينـــة Ornamental stone وكمادة خام فى أعمال النحت والتشكيل Carving material.

Allanite الألانيت

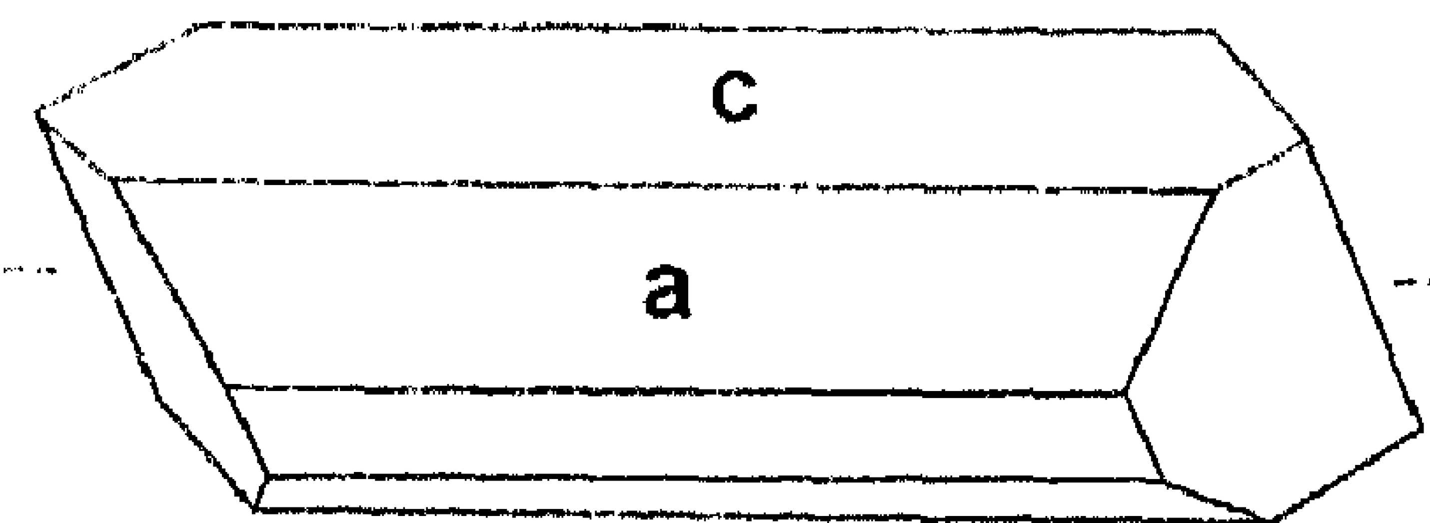


$(Ca,Ce)_2\ (Fe^{+2}, Fe^{+3})\ Al_2O.OH(Si_2O_7)(SiO_4)$

سمى المعدن بهذا الاسم تخليداً للعالم الأسكتلندى توماس ألان Thomas Allan (١٧٧٧-١٨٣٣). وأحياناً يطلق علي المعدن اسم أورثيت Orthite بناءً على الشكل المنشورى الطويل لبلورات المعدن. الألانيت من معادن مجموعة الإبيدوت يتميز بإحتوائه على العناصر الأرضية النادرة من النوع الخفيف LREE مثل السيريوم Ce واللانثانم La والنيوديميوم Nd بالإضافة لإحتوائه على الثوريوم Th (إكسيلى ١٩٨٠ Exeley، بروكس وأخرين Brooks et al. ١٩٨١). ويعتبر الألانيت معدن إضافى هام فى الصخور الجرانيتية حيث يؤثر تأثيراً هاماً على التركيب الكيميائى لها (ساكوا وأخرين Sakwa et al. ١٩٨٤). ويوجد المعدن أيضاً فى الصخور المتحولة فقد سجل تريبيزيو وأخرون (١٩٩٦) Tribuzio et al. أن ٦٠% من العناصر الأرضية الخفيفة LREE فى صخر الإيكلوجيت موجودة فى الألانيت. معدن الألانيت هو المعدن الوحيد فى مجموعة الإبيدوت الذى يتواجد فيه Fe^{+2} كمكون أساسى. حيث يحل أيون الحديد الثنائي محل الألومنيوم ولكى يتم الإتزان يحل أيون السيريوم الثلاثى محل الكالسيوم الثنائى كما يمكن أن يقوم كل من اللانثانم والإيتريوم بدور السيريوم فى هذا الإحلال.

البنية البلورية

يتبلور المعدن فى فصيلة الميل الواحد مجموعة النقطة 2/m والمجموعة الفراغية $P2_1/m$. وتأخذ البنية البلورية نفس شكل بنية الإبيدوت (إنظر شكل ٣-



شكل ٣-١٧: الشكل البلورى للألانيت

٢) مع الأخذ فى الأعتبار أن بعض أماكن الألومنيوم تشغل بواسطة الحديد وأن بعض أماكن الكالسيوم تشغل بواسطة العناصر الأرضية النادرة الخفيفة LREE. وتبلغ أبعاد خلية الوحدة فى الألانيت أ= ٨,٩٣، ب=٥,٧٧، ج=١٠,١٦ أنجستروم وهى أكبر قليلاً من مثيلتها فى سلسلة الإبيدوت–كلينوزوسيت. وتبلغ زاوية "β" حوالى ١١٤,٦٩ درجة وتمتلك خلية الوحدة من الذرات (Z)=٢ وتأخذ البلورات غالبا أشكال منشورية أو إبرية. التوأمية موجودة فى الإتجاه {100} ولكنها غير شائعة كما أنها نادرة النمو فى الإتجاه {001}. ويمثل شكل (٣–١٧) نموذج لبلورة منشورية للألانيت.

كيميائية المعدن

يوجد ثلاث أنواع رئيسية من الألانيت إعتماداً على نوع العنصر الأرضى النادر الموجود فى المعـدن وهذه الأنواع هى سيريـوم–ألانيت Ce-allanite $(Ce,Ca,Y)_2(Al,Fe^{+2},Fe^{+3})_3(SiO_4)(Si_2O_7)O(OH)$ ولانثـانم–ألانيت La-allanite $Ca(La,Ce,Ca)Al_2(Fe^{+2},Fe^{+3})(SiO_4)(Si_2O_7)O(OH)$ وإيتريوم–ألانيت Y-allanite $(Y,Ce,Ca)_2(Al,Fe^{+++})_3(SiO_4)(Si_2O_7)O(OH)$ ويبين الجدول (٣–٥) التركيب الكيميائى لهذه الأنواع الثلاثة.

بالإضافة إلى المنجنيز والماغنسيوم المسجلة قيمهما فى هذا الجدول، يمكن أيضاً تواجد الصوديوم والبيريليوم فى الألانيت. يتفاعل معدن الألانيت مع حمض الهيدروكلوريك ويتحول إلى صورة جيلاتينية. تتواجد بعض العناصر المشعة فى معدن الألانيت وتتراوح نسبتها عادة ما بين ٠,٣٥ إلى ٢,٢٣% من أكسيد الثوريوم ThO_2 ومن ٣٠ إلى ٦٥٠ جزء من المليون من اليورانيـوم. تؤدى هذه العناصر غالباً إلى تواجد الألانيت فى حالة تفكـك لبناؤه الذرى نتيجة لفعل جسيمات ألفا α –Particles والتى تنبعث أثناء التحلل الإشعاعى Radioactive decay. وتمتلك جسيمات ألفا حين إنبعاثها الكم الكافى من الطاقة والكتلة اللازمة لكسر الروابط الكيميائية وإزاحة الذرات المجاورة مسافات تقدر بعشرات من الميكرون وبإستمرار التحـلل الإشعاعى وخروج

جدول ٣-٥: التحليل الكيميائي للأنواع المختلفة للألانيت

الأكسيد	١. سيريوم-ألانيت Ce-allanite	٢. لانثانم-ألانيت La-allanite	٣. إيتريوم-ألانيت Y-allanite
SiO_2	٢٩,٧٩	٣٠,٢٢	٣٠,١١
TiO_2	٠,٠٢	--	--
Al_2O_3	١٢,٧٥	١٢,٨٢	١٩,١٦
Ce_2O_3	١٢,٨	٦,٨٨	١٦,٤٥
Y_2O_3	٠,٠٤	--	٢٢,٦٣
La_2O_3	٧,٢	٢٠,٤٨	--
RE_2O_3	٤,٧٨	--	--
Fe_2O_3	١٠,٦٤	٦,٦٩	١٠,٠٠
FeO	٩,٠٢	٩,٠٣	--
MnO	٠,٨٥	٢,٩٧	--
MgO	٠,٦٤	--	--
CaO	١٠,١٠	٩,٤	٢,٨١
H_2O^+	١,٦٤	١,٥١	١,٥
^-H_2O	٠,١٠		
المجموع	١٠٠,٣٧	١٠٠	١٠٢,٦٧

تحليل ١. سيريوم ألانيت من منطقة لانجوى بريدج بزامبيا (2001) Luangwe Bridge area, Zambia RE_2O_3 = Pr_2O_3 1.0%, Nd_2O_3 3.10%, Sm_2O_3 0.60%, Gd_2O_3 0.06%, Er_2O_3 0.02%. http://www.minsocam.org/msa/handbook

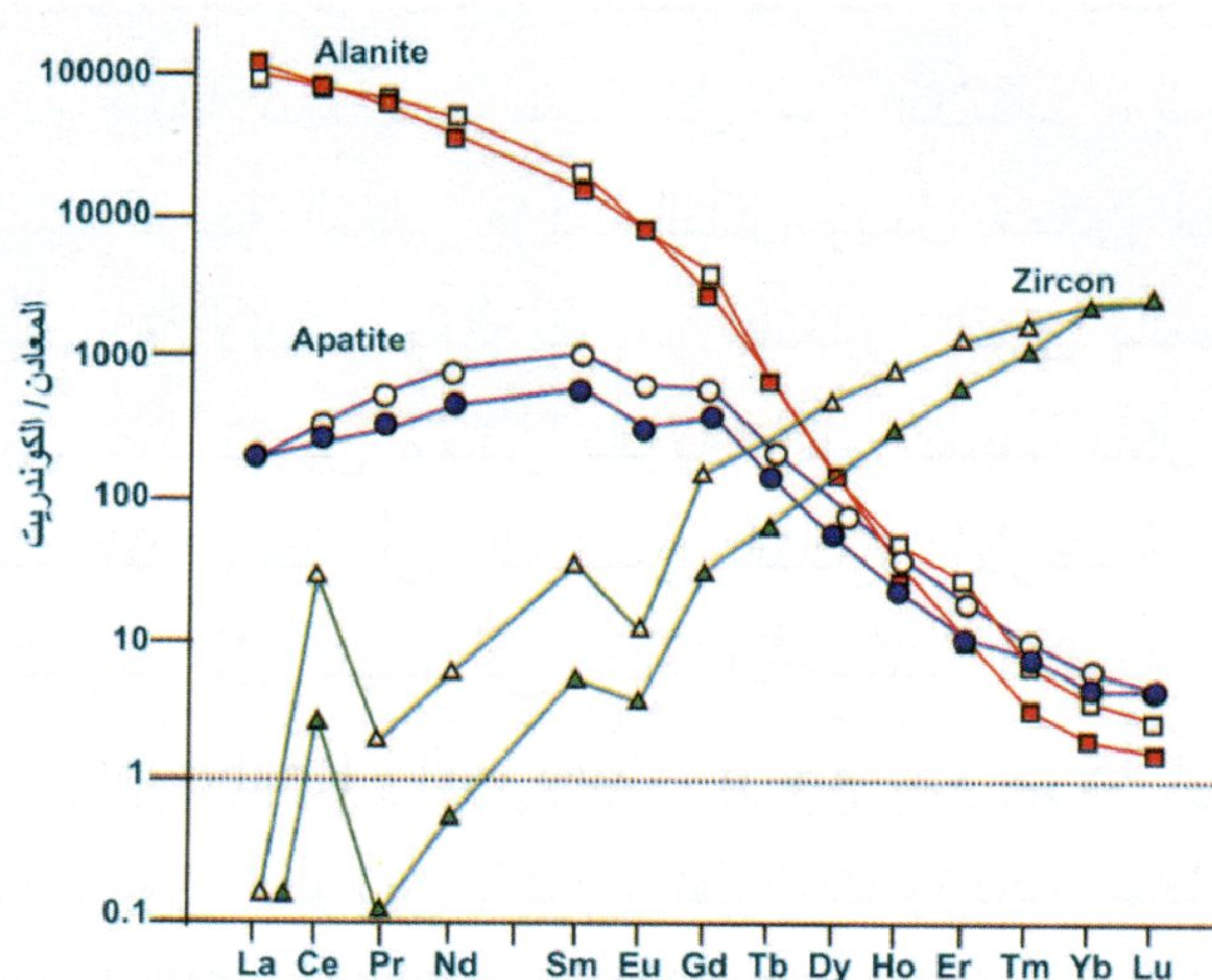
تحليل ٢. لانثانم ألانيت من منطقة منجم بوكا ديلا، ستازيما، إيطاليا (2003) Bucadella Vena Mine, Stazzema, Italy. http://webmineral.com/data/Allanite-(La).shtml

تحليل ٣. إيتريوم ألانيت من محجر للرخام شمال غرب هايلاند، إسكتلاندا (2003). http://webmineral.com/data/Allanite-(Y).shtml

جسيمات ألفا يتحول المعدن بالتدريج إلى حالة غير متبلورة ويسير الضوء فيه كمادة أيزوتروبية. تتناسب درجة هذا الإنهيار فى البناء الذرى طردياً مع تركيز العنصر المشع ومدى إنتشاره وزمن تواجده بالمعدن وعكسياً مع

الثبات الكيميائى وقوة الروابط والترصيص المغلق فى بنية المعدن Closed packing.

تتميز كيميائية المعدن إلى حد كبير بوجود العناصر الأرضية النادرة وبخاصة النوع الخفيف منها LREE. تتواجد هذه العناصر عموماً فى الألانيت من خلال إحلالها محل الكالسيوم والثوريوم $Ca^{2+}+Th^{4+} \leftrightarrow 2REE^{3+}$ ويبين شكل (٣-١٨) تركيزات العناصر الأرضية النادرة بالنسبة للكوندريت فى كل من الألانيت والأباتيت والزركون المفصولين من صخر الفنجيت إيكلوجيت Phengite eclogite من منطقة دورا ماريا غرب جبال الألب. يلاحظ من الشكل أن تركيزات العناصر الأرضية النادرة الخفيفة LREE فى الألانيت هى أكبر من مثيلتها فى الأباتيت بينما يتميز الزركون بوجود العناصر الأرضية الثقيلة.



شكل ٣-١٨: تركيزات العناصر الأرضية النادرة بالنسبة للكوندريت فى كل من الألانيت والأباتيت والزركون المفصولة من صخر الفنجيت إيكلوجيت من دورا ماريا فى غرب الألب. Dora-Maira massif, Western Alps (هيرمان ٢٠٠٢ Hermann).

تلعب المعادن الإضافية دوراً هاما أثناء إندساس القشرة فى نطاق الوشاح العلوى حيث وجد هيرمان (٢٠٠٢) Hermann أن ٩٥% من التيتانيوم والنيبيوم والتنتالم تتواجد فى الروتيل وأكثر من ٩٥% من الزركونيوم

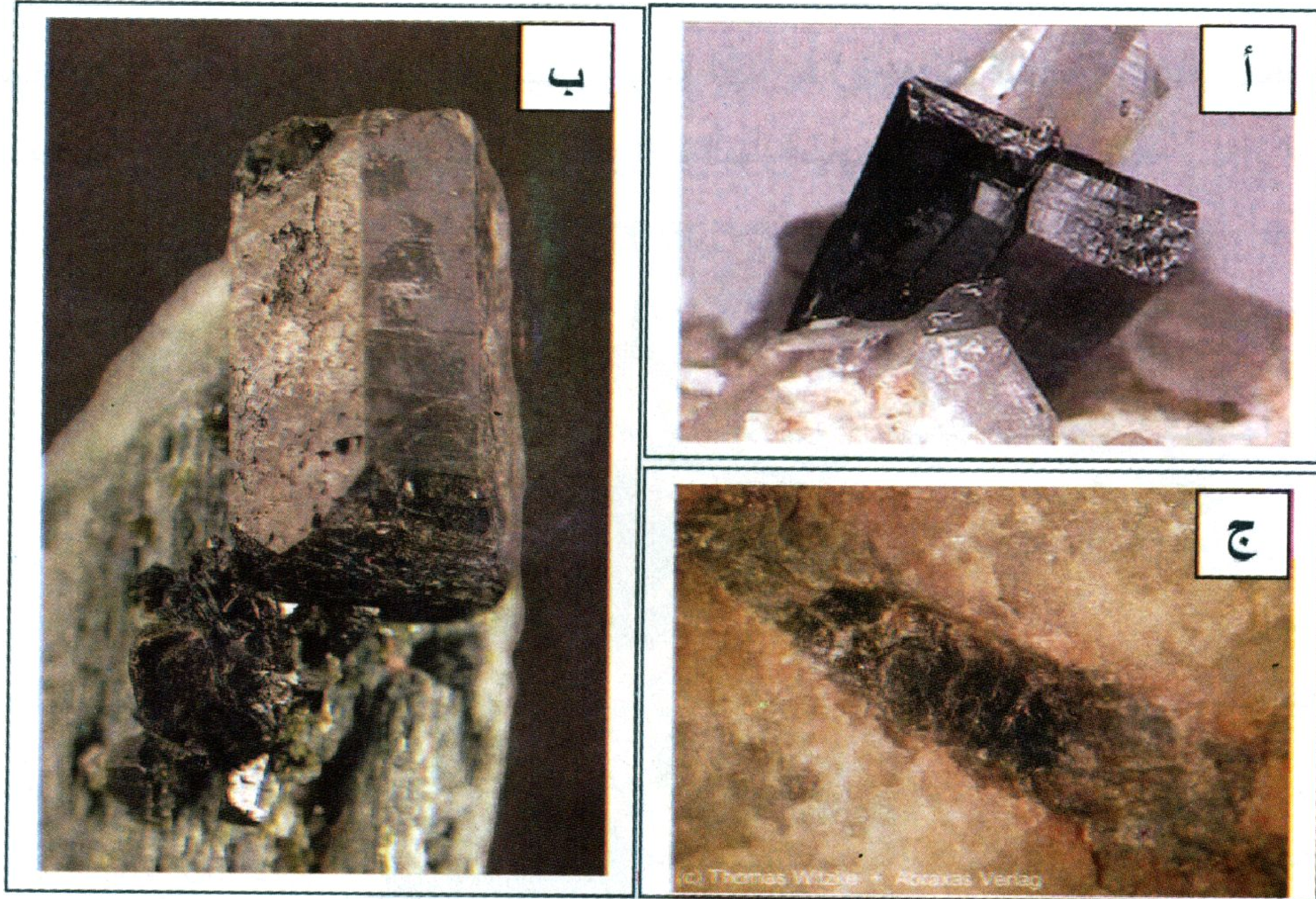
والهافنيوم تتواجد فى الزركون وأكثر من ٩٠% من الثوريوم والعناصر الأرضية النادرة الخفيفة LREE تتواجد فى الألانيت ويتواجد معظم اليورانيوم فى الألانيت والزركون بينما يحتفظ الأباتيت بمعظم الفوسفور وقد وجد هيرمان بالتجربة أن الألانيت يتكون كصنف متبقى Residual phase فى نطاق الإندساس لذلك فهو يتحكم فى توزيع كل من الثوريوم والعناصر النادرة الأرضية الخفيفة LREE فى السوائل الموجودة فى هذا النطاق. بالرغم من أن الألانيت يكون مستقراً فى درجات الحرارة العالية بالمقارنة بالفنجيت واللاوسونيت، إلا أنه يلعب دوراً هاماً فى إنتشار هذه العناصر فى الوشاح بواسطة القشرة المندسة Subducted Crust .

تُحدث المحاليل المائية الحارة غالباً تغاير Alteration فى معدن الألانيت. يؤدى هذا التغاير إلى تأكل المعدن وعمل إحلال له. فقد أظهرت بلورات الألانيت التى تعرضت إلى تغاير بسيط حواف غنية بالثوريوم وذلك لأنه لايذوب بسهوله بينما تضاءلت نسبة كل من اللانثانم والسيريوم فى هذه الحواف. وبزيادة درجة التغاير يزداد التأكل ويحل معادن أخرى كالفلوريت والمونازيت محل الألانيت. وبالرغم من التغاير القوى بالمحاليل الحرمائية الغنية بالفلورين عند تكوين معادن ثانوية والتى تسبب تأكل جزء كبير من معدن الألانيت فقد وجد أن العناصر النادرة الأرضية الخفيفة LREE والثوريوم لاتتحرك بل تثبت فى هذه الأصناف الثانوية مثل المونازيت والرابدوفان Rhabdophane والثوريانيت. يرجع عدم حركة أو ذوبان LREE إلى تراجع نشاط أيون الفلورين بتكوين الفلوريت وزيادة نشاط أيون الفوسفات PO_4^{3-} والذى يميل لتكوين مركبات مع العناصر الأرضية النادرة.

الصفات الفيزيائية والبصرية

يتراوح لون المعدن مابين بنى فاتح إلى أسود (شكل ٣-١٩) وفى القطاعات الرقيقة المجهرية يكون اللون أصفر أو بنى أو بنى مخضر (شكل ٣-٢٠). يظهر التغير اللونى فى إتجاه α من اللون البنى المحمر إلى البنى الفاتح وفى الإتجاه β من البنى المصفر إلى البنى وفى إتجاه γ من البنى

المخضر إلى البنى الغامق. البريق زجاجي أو صمغي أو شبه فلزى والمعدن نصف شفاف إلى معتم. المخدش رمادى وتتراوح الصلادة ما بين ٥-٦,٥ أما الإنفصام فهو غير كامل فى المستوى {001} وضعيف فى المستويين {100} و{110}. المكسر محارى أو غير مستوى.

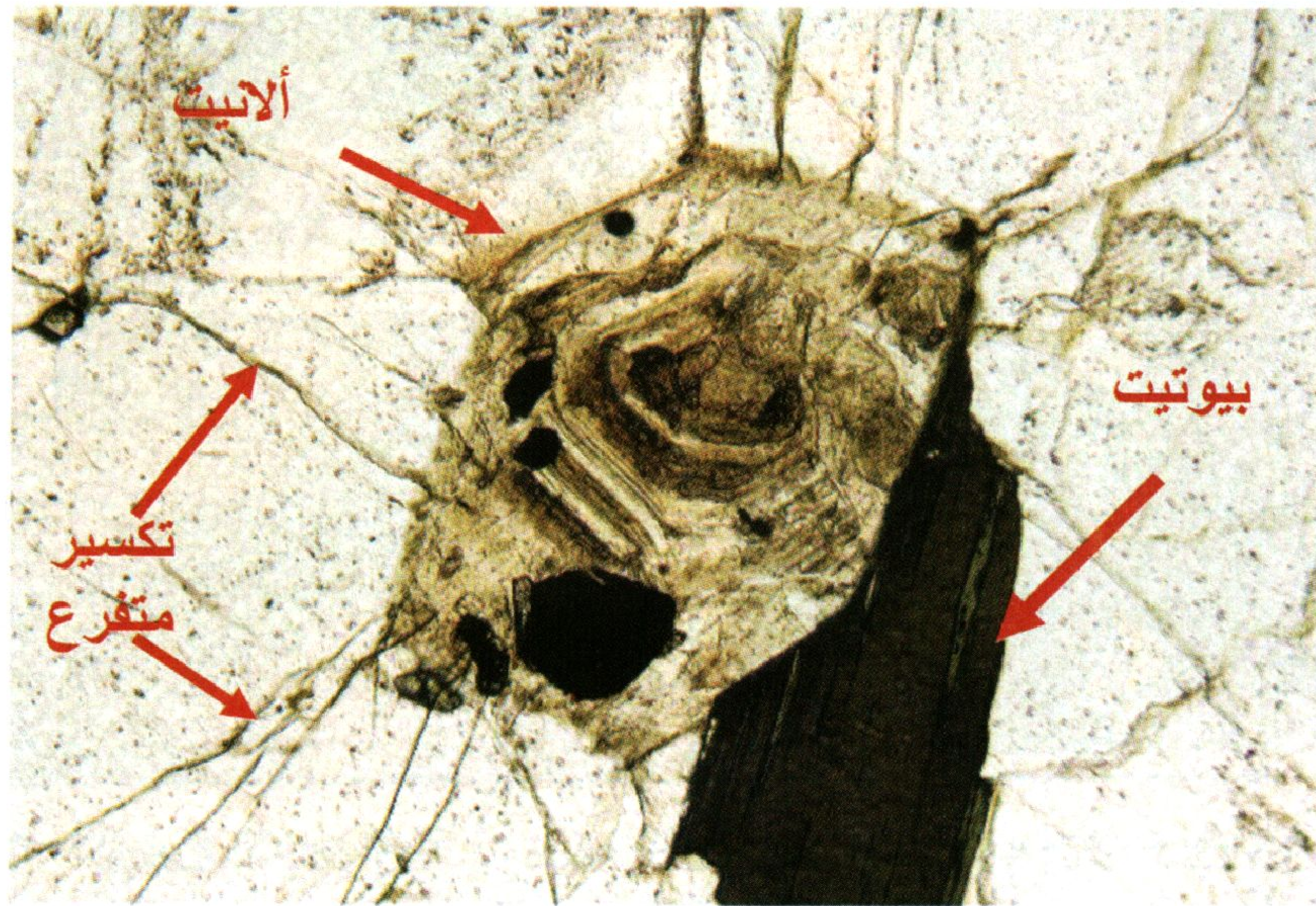


شكل ٣-١٩: أنواع الألانيت الثلاثة: أ- بلورة منشورية سوداء من السيريوم-ألانيت بطول ٠,٨سم متواجدة مع كوارتز. منجم تيرو إستريللا، نيو ميكسيكو، أمريكا. ب- بلورة منشورية سوداء من اللانثانم-ألانيت (٠,٩X٠,٥ سم) موجودة مع بلورات أصغر سوداء من الماجنيتيت والخلفية معدن الهيدنبيرجيت، منطقة مينا نوفا فيزكايا بأسبانيا. ج- بلورة منشورية بنية اللون من الإيتريوم-ألانيت (حوالى ١سم) موجودة فى كوارتز. منطقة بودن، ساكسوني، ألمانيا.

http://webmineral.com/specimens/picshow.php

تؤثر عمليات إنهيار البناء الذرى الناتج من التحلل الإشعاعى على الصفات الفيزيائية والبصرية للمعدن فعلى سبيل المثال يمكن أن يعود الفرق الواسع فى قيم الوزن النوعى للألانيت (٣,٤-٤,٢) إلى التفاوت فى درجات إنهيار البناء الذرى Variation in the degree of metamictization ويعود أيضاً إلى درجة التغاير حيث تؤدى زيادة

إحتـــواء المعـــدن على الماء إلى تمـــدد المعـــدن وزيادة حجمـــه مع نقـــص فى وزنه النوعي. تساهم الطاقـــة الحراريـــة الكبيرة الناتجة عن التحلل الإشعاعي أيضاً فى تمدد المعـــدن. عـــادة ما يحاط الألانيت بكسور cracks تتفرع من حول المعـــدن إلى المعادن المجاورة (شكـــل ٣-٢٠). وتنتـــج هذه الكسور نتيجة للضغط الذى تتعرض له المعـــادن المجاورة نتيجـــة للتمدد الحادث بالألانيت. وتتواجد مثل هذه الكسور غالباً حول المعـــادن المشعه الأخرى كالزركـــون واليورانينيـــت والثوريت.



شكل ٣-٢٠: صورة مجهرية للألانيت من جرانيت ألومينومى Metaluminous. يظهـــر المعدن نطاقية نتيجة تغير التركيب الكيميائى أثناء المراحل المتعاقبة من نموه. ويؤثر المعـــدن فى المعادن المحيطة مسببا تكسير متفرع Radial cracks نتيجة زيـــادة حجمـــه. الـــضوء المستقطب (X100)

http://www.union.edu/PUBLIC/GEODEPT/COURSES/petrology/ig minerals.htm

كما تؤثر عمليات إنهيار البناء الذرى أيضاً على معاملات الانكسار وبالتبعية على قرينة الانكسار المزدوج فنجد أن هناك مدى كبير نسبياً من التغيير لكل قيمة من هذه المعاملات، حيث تبلغ معاملات الانكسار فى معدن الألانيت ألفا (α) =١,٦٩٠-١,٧٩١٠ و بيتا (β) = ١,٧-١,٨١٥ و جاما (γ) = ١,٧٠٦-١,٨٢٨ وتبلغ قرينة الانكسار المزدوج (δ) = ٠,٠١٣-٠,٠٣٦.

كما أن إحلال الحديـد الثلاثى محل الألومنيوم Al وإحلال العناصر الأرضية النادرة REE محل الكالسيوم Ca يصاحبه زيادة فى معاملات الانكسار، وهذا مشابه لما يحدث فى سلسلة معادن الإبيدوت-كلينوزوسيت (إنظر شكل ٣-١١). وتبلغ الزاوية البصرية ($2V$) فى الألانيت ما بين ٤٠-١٢٣° وبلورات المعدن تحمل العلامتان السالبة والموجبة. يمكن تمييز بلورات الألانيت والتى لاتظهر درجات من الإنهيار فى البناء الذرى ربما لإحتوائهـا على كميات قليلة من اليورانيوم والثوريوم Non-metamict عن معادن الإبيدوت الأخرى بلونها البنى بينما تتميز الأنواع المتعرضة لهذا الإنهيار بصفاتها الأيزوتروبية ووجود التكسير التفرعى حول المعدن.

التواجدات والصحبة المعدنية

يتواجد الألانيت كمعدن إضافي Accessory mineral فى الصخور النارية كالجرانيت والجرانوديوريت والمونزوجرانيت والسيانيت والديوريت والبيجماتيت وفى الصخور المتحولة كالنيس والشيست الميكائى. كما يتواجد فى الحجر الجيرى المتبلور كما يتواجد بكميات أكبر فى رواسب التماس فى الحجر الجيرى وفى البيجماتيت. والمعادن المصاحبة هى الإبيدوت والماجنتيت والكوارتز والفلسبار. ومن أماكن تواجده منطقة أليوك بجنوب جرينلاند وفينبو بالسويد وأريندال بالنرويج وجبال إلمن بروسيا وبرواسب التلك بمنطقة ترايماونس بفرنسا وريبيو بموزامبيق وفى باكويما كانيون بكاليفورنيا بالولايات المتحدة الأميريكية. وفى مصر فى عروق البيجماتيت بوادى الجمال بجنوب الصحراء الشرقية وفى بعض أنواع الجرانيت بأسوان.

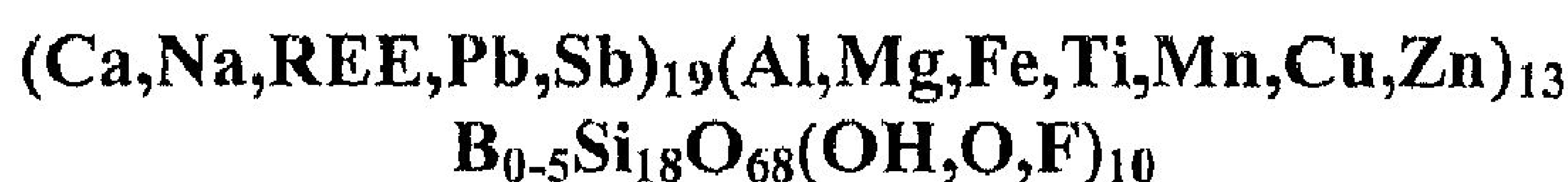
الاستخدامات

عند تواجد الألانيت بكميات إقتصادية، فإنه يستخدم كمصدر للعناصر الأرضية النادرة وخاصة السيريوم. ويستخدم السيريوم فى صناعة سبائك الحديد والولاعات والزجاج والسيراميك والخلايا الضوئية وتستخدم نيترات السيريوم Cerous nitrate فى الأغراض الطبية كعلاج لأمراض مثل الدوار

وعدم الإتزان Seasickness and chronic vomiting وتستخدم كبريتات السيريوم Ceric sulfate فى التحاليل الكيميائية كعامل مؤكسد. ويستخدم اللانثانم فى السبائك مثل Misch metal التى تستخدم بدورها فى صناعة الولاعات وفى صناعة أنواع معينة من النظارات الطبية. أما الإيتريوم فيستخدم عند خلطه مع الإيروبيوم Europium فى صناعة أنابيب التليفزيون Television tubes كما يشيع إستخدامه أيضاً فى صناعات الزجاج والسيراميك. تفاصيل إستخدامات العناصر الأرضية النادرة فى المجالات المختلفة يمكن الإطلاع عليها فى الموقع الإليكترونى:

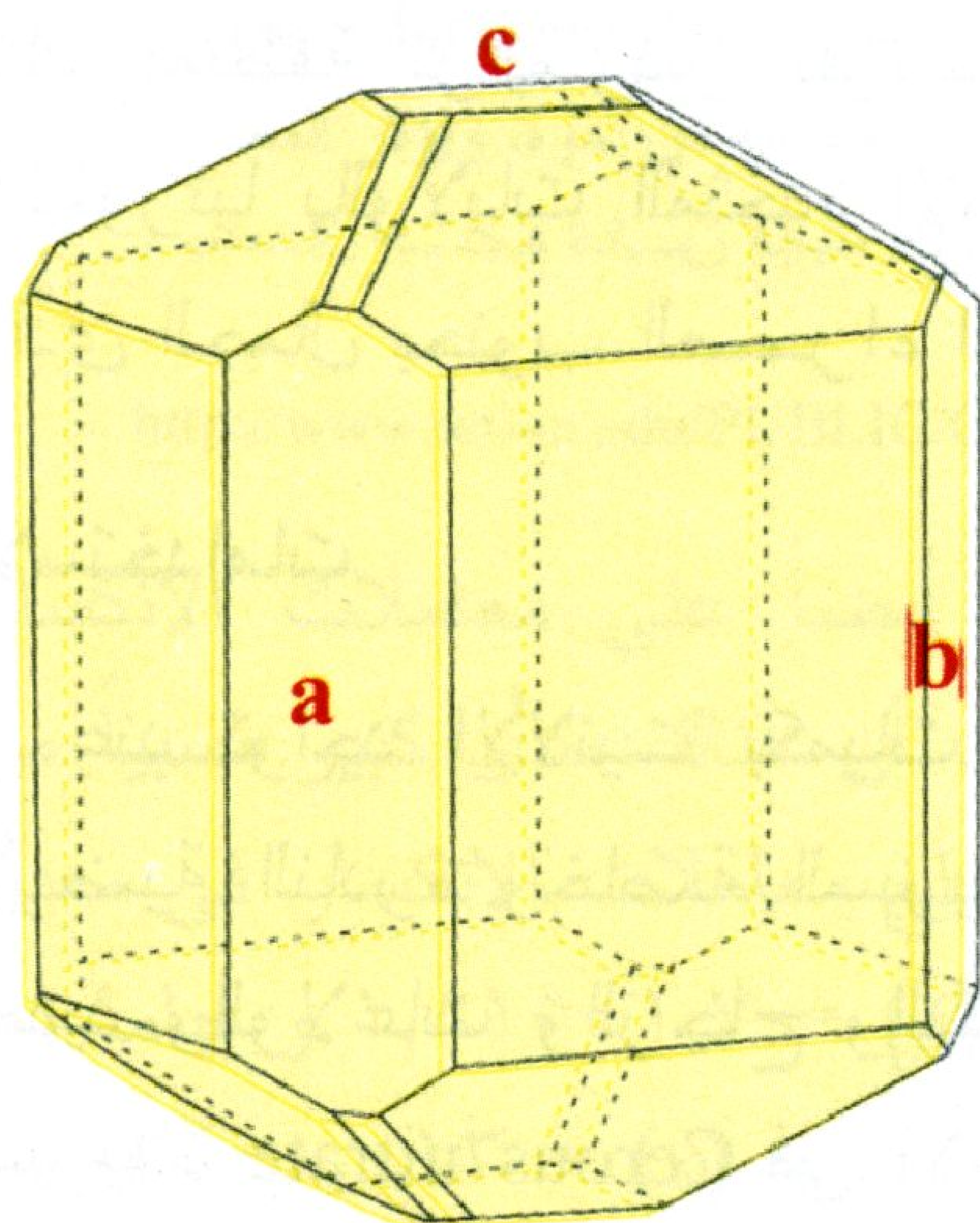
http://www.candldevelopment.com/application.htm

الفيزيوفيانيت Vesuvianite



$$(Ca,Na,REE,Pb,Sb)_{19}(Al,Mg,Fe,Ti,Mn,Cu,Zn)_{13}B_{0-5}Si_{18}O_{68}(OH,O,F)_{10}$$

أطلق فيرنر Werner عام ١٧٩٥ اسم الفيزيوفيانيت على المعدن بناءاً على مكان تواجده فى إيطاليا فى منطقة فيزوف Vesuvius. ويطلق على المعدن أيضاً اسم أخر هو إيدوكراس Idocrase من اللغة اليونانية بمعنى مكون معدنى خليط Mixed form وذلك لأن بلوراته تتواجد فى صورة خليط مع معادن أخرى. وتستخدم النوعية النقية من المعدن كحجر للزينة ويطلق عليها اسم كاليفورنيت Californite بناءً على أول مكان أُكتشف فيه بولاية كاليفورنيا بالولايات المتحدة الأمريكية.



شكل ٣-٢١: بلورة مركبة لمعدن الفيزيوفيانيت

البنية البلورية

يتبلور المعدن فى فصيلة الرباعى (فيزوفيانيت عالي التماثل High symmetry vesuvianite) أو الميل الواحد (فيزوفيانيت منخفض التماثل

(Low symmetry vesuvianite). ويحدث ذلك نتيجة حدوث إختلاف قليل فى أطوال المحاور الأفقية (a,b). مجموعة النقطة 4/m 2/m 2/m أو 2/m والمجموعة الفراغية *P*4/nnc أو *P*2/n. تتشابه البنيـــة البلورية للمعدن مع معـــدن الجارنت (دانا ١٩٥١ Dana) وتبلـــغ أبعـــاد خليـــة الوحـــدة أ = ١٥,٤-١٥,٧ و ج= ١١,٦-١١,٩ أنجستروم ويبلغ ماتمتلكه خلية الوحدة من الذرات (Z) =٢. يشيع تواجد المعدن فى هيئة بلورات هرمية قصيرة الطول أو بلورات منشورية طويلة قد تصل إلى ١٥سم وللمعدن أشكال بلورية متعددة ومركبة تصل إلى ٣٠ شكل فى البلورة الواحدة. ويتواجد المعدن فى صورة كتلية أو عمدانية. تلاحظ التوأمية على الأحجام الصغيرة جداً من بلورات المعدن. ويبين شكل (٣-٢٢) بلورة مركبة من معدن الفيزيوفيانيت متبلورة فى فصيلة الرباعي وتحتوى على أشكال منشورية وهرمية ومسطوح قاعدى.

كيميائية المعدن

يبين جدول (٣-٦) التحليل الكيميائى لمعدن الفيزيوفيانيت. يتكون المعدن أساساً من سيليكات الكالسيوم والماغنسيوم والحديد والألومنيوم، حيث يحل أيون الحديد الثلاثى محل جزء من كل من أيونات الكالسيوم والألومنيوم والماغنسيوم. تحل عناصر أخرى فى أحوال كثيرة محل بعض من هذه الكاتيونات مثل العناصر الأرضية النادرة REE والرصاص والأنتيمون والتيتانيوم والمنجنيز والنحاس والزنك. تؤثر هذه الإحلالات على الصفات الفيزيائية والبصرية للمعدن فنجد للمعدن ألوان متعددة كالبنى والأخضر والأسود والبنفسجى بمختلف درجاتها (أشكال ٣- ٢٢ إلى ٣-٢٥) كما تختلف قيمة الوزن النوعي تبعاً للأوزان الذرية للكاتيونات المتواجـــدة فى بنية المعـــدن. وتتميز النوعيـــة التى تحتوى على نسبة عالية من العناصر الأرضية النادرة REE والتى قد تصل أحياناً إلى ١٧% بأن لهـــا أكبر أبعـــاد لخليـــة الوحـــدة لهذا المعدن كما هو الحال فى الفيزيوفيانيت من كاليفورنيا San Benito Co., CA. يحتوى المعدن العـــالى التماثـــل على كمية من

الكلور والفلور أكبر بكثير من المعدن المنخفض التماثل. يحتوى الفيزيوفيانيت الحاوى على البورون على كميات قليلة جداً من الهيدروكسيل والألومنيوم إذا ماقورن بالنوعية غير الحاوية على البورون، حيث يحل كل من البورون والماغنسيوم محل الألومنيوم والهيدروجين $B+Mg \leftrightarrow 2H+Al$ (دانا ودانا ١٩٩٧ Dana and Dana) كما يحتوى المعدن الحاوى على البورون على كميات أكبر من أيون الحديد الثنائى والماغنسيوم (جدول ٣-٦). يتحلل المعدن جزئياً بتفاعله مع حامض الهيدروكلوريك وكلياً إذا تم حرقه قبل تعرضه للحامض، كما يذوب الفيزيوفيانيت بسهولة فى حامض الهيدروفلوريك.

جدول ٣-٦: التحليل الكيميائى للفيزيوفيانيت

الأكسيد	١	٢
SiO_2	٣٥,٠٣	٣٥,٠١
TiO_2	٠,٥٢	٠,٤٣
CaO	٣٧,٧	٣٥,٣١
Al_2O_3	١٧,٠٤	١٢,١٣
Fe_2O_3	١,٩١	٣,٧٦
FeO	١,٤٢	٣,٦٧
MgO	٢,١٧	٤,٨٤
MnO	٠,٠٦	٠,١٣
B_2O_3	--	٣,١٨
H_2O (calculated)	٢,٨	٠,٨٦
المجموع	٩٩,٦٥	٩٩,٣٢

تحليل (١). تحليل بالمسبار الإلكترونى للفيزيوفيانيت من منجم جيفرى بكندا (٢٠٠١)

تحليل (٢). تحليل بالمسبار الإلكترونى للفيزيوفيانيت من تيولار بكاليفورنيا بأمريكا (٢٠٠١)

http://www.minsocam.org/msa/handbook



شكل ٣-٢٢: العديد من البلورات البنية اللون من معدن الفيزيوفيانيت متواجدة في خلفية بيضاء اللون من الحجر الجيرى. أكبر بلورة تصل إلى حوالى ١سم طول وكل البلورات لها نهاية هرمية ومقاطعها مربعة الشكل. من منطقة كواهيلا بالمكسيك Coahuilla Mexico.
http://www.wildaboutrocks.com/category33_1.htm

الصفات الفيزيائية والبصرية

اللون عادة بنى أو أخضر بدرجاتهما ويتواجد في ألوان أخرى كالأزرق والأحمر والأسود والبنفسجى وأحياناً عديم اللون إلى أبيض. هناك نوعية خضراء اللون نقية من المعدن يطلق عليها كاليفورنيت (شكل ٣-٢٣). البريق زجاجى إلى راتنجى والمعدن شفاف إلى نصف شفاف، كما يشيع فيه النطاقية والمخدش أبيض أو أخضر فاتح. تبلغ الصلادة من ٦ إلى ٧ والإنفصام ضعيف في الإتجاه {110} وضعيف جداً في الإتجاهين {100} و{001}. المكسر شبه محارى Subconchoidal أو غير مستوى والمعدن صلب Brittle والوزن النوعى المقاس= ٣,٣٢-٣,٤٣ والمحسوب = ٣,٤٢. فى الشرائح المجهرية المعدن عديم اللون أو أصفر فاتح أو أخضر أو بنى. ويتميز المعدن بإنكساره العالى الذى يؤدى إلى التضاريس العالية وإلى صغر قرينة الانكسار المزدوج. يبلغ معاملي الانكسار (ω)= ١,٧٠٣-١,٧٥٢

و(ϵ)= ١,٧-١,٧٤٦. المعدن أحادى المحور سالب أو موجب وأحيانــاً يكون ثنائى المحور. التغير اللونى ضعيف مابين عديم اللون إلى أصفر ومابين أصفر إلى أخضر إلى بنى والتفرق قوى فى المعدن.



شكل ٣-٢٣: معدن كاليفورنيت أخضر اللون (حجر زينة) من رواسب بولجا بكاليفورنيا. Pulga, California. http://www.cst.cmich.edu/users/dietr1rv/vesuvianite.htm



شكل ٣-٢٤: بلورات إبرية بيضاء من الفيزيوفيانيت الغنى بالفلور Fluorvesuvianite من منجم ليبيكو للحديد بروسيا. مساحة الصورة ١,٢ سم^2.
http://webmineral.com/specimens/p

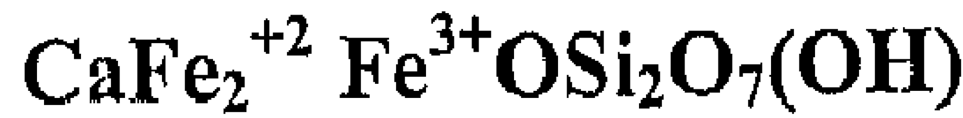


شكل ٣-٢٥: بلورات منشورية حمراء داكنة من الفيزيوفيانيت الغنى بالمنجنيز Manganvesuvianite (أطول بلورة حوالى ٢مم) من منجم نتشوانج بجنوب أفريقيا.
http://webmineral.com/specimens/picshow.php?id=2764

التواجدات والصحبة المعدنية

يتواجد الفيزيوفيانيت غالباً فى نطاق التحول التلامسى للحجر الجيرى غير النقى ويتواجد أيضاً مع صخور السربنتينيت وفى الشيست الكلوريتى والنيس كما يتواجد مع الصخور المافية وفوق المافية ومع السيانيت القلوى المتعرض للتغاير ولم يسجل تواجد له مع الصخور البركانية. يتكون الفيزيوفيانيت عالى التماثل فى درجات حرارة (٤٠٠-٨٠٠ درجة مئوية) بينما يتكون الفيزيوفيانيت منخفض التماثل فى درجات حرارة أقل من ٣٠٠ درجة مئوية. ويصاحب معادن متعددة كالجروسيولاريت والفلوجوبيت والدايوبسيد والولاستونيت والإسكابولايت والإسبنيل والكالسيت والإبيدوت. من أهم أماكن تواجده منطقة أتشاراجدا فى سيبيريا ومقاطعة ذلاتوست بجبال الأورال وتورينتو ولوكانا وفيزوف بإيطاليا وزيرمات بسويسرا وأريندال بالنرويج وكيورا باليابان وكريستمور بكاليفورنيا بأمريكا.

الإلفيت Ilvaite

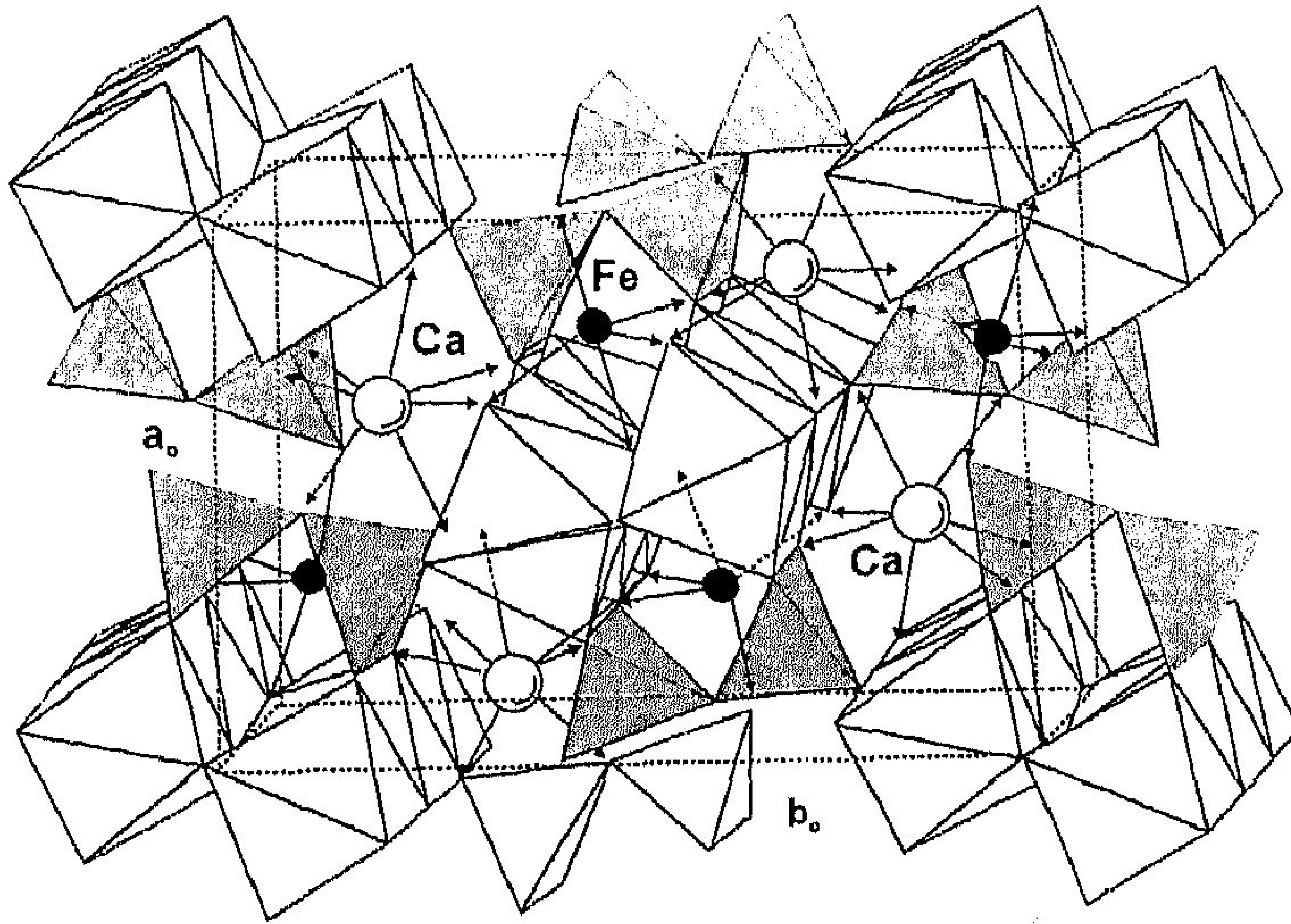


$CaFe_2^{+2} Fe^{3+}OSi_2O_7(OH)$

أُطلق على المعدن هذا الاسم من الكلمة اللاتينية *Ilva* وهو اسم لجزيرة إلبا Elba فى إيطاليا حيث أُكتشف لأول مرة وللمعدن اسم أخر هو ليفريت lievrite.

البنية البلورية

يتبلور المعدن فى فصيلة المعينى القائم وفى بعض الأحيان بفصيلة الميل الواحد. ويوضح الشكل (٣-٢٦) البنية البلورية لمعدن الإلفيت حيث تتكون من أعمدة مزدوجة من ثمانى الأوجه الذى يحيط بالحديد الثنائى، هذه الأعمدة تمتد موازية للمحور "c" وتترابط بواسطة مجموعات Si_2O_7. تُملئ الأماكن الواقعة مابين ثمانيات الأوجه بالحديد الثلاثى وذرات الكالسيوم. تتواجد مجموعات الهيدروكسيل فى الأركان الخاصة بثمانيات الأوجه التى تحيط بالحديد الثنائى ولا تترابط هذه المجموعات سواء مع Si_2O_7 أو الحديد الثلاثى



شكل ٣-٢٦: البنية البلورية للإلفيت.

ولذلك يصبح التركيب الكيميائى للمعدن $CaFe_2^{+2}Fe^{3+}OSi_2O_7(OH)$. تفسر الأعمدة التى يشكلها ثمانيات الأوجه المحيطة بالحديد الثنائى -Fe octahedra والتى تتواجد موازية للمحور الرأسى "c" الشكل المنشورى الذى تأخذه بلورات المعدن (شكلى ٣-٢٧، ٣-٢٨). مجموعة النقطة 2/m 2/m 2/m أو 2/m والمجموعة الفراغية *Pbnm*. وتبلغ أبعاد خلية الوحدة أ= ٨,٨ ، ب=١٣,٠١٩، ج= ٥,٨٥٢ أنجستروم ويبلغ ماتمتلكه خلية الوحدة من الذرات (Z) =٤. فى بعض الأحيان



شكل ٣-٢٧: بلورة إلفيت منشورية سوداء اللون موجودة مع بلورة كوارتز سداسية من منجم سوفيتسكيج الأول بروسيا (مساحة الصورة ٤,٥x٣,٥سم) First Sovietskij mine, Russia.

تزيد زاوية β قليلاً عن ٩٠ درجة وتبلغ ٩٠,٢٠٩ درجة، لذا تتواجد بلورات المعدن فى فصيلة الميل الواحد وتبلغ أبعاد الخلية فى هذه الحاله أ= ٣,٠١٠٣، ب = ٨,٨٠٣٩ ،ج= ٥,٨٥١٧ أنجستروم.



شكل ٣-٢٨: بلورة إلفيت سوداء اللون موجودة مع بلورات كوارتز من منجم نيكولافيسكى بروسيا (مساحة الصورة ٤x٥سم). Nikolaevskiy mine (Russia)

كيميائية المعدن

يظهر جدول (٣-٧) نتائج التحليل الكيميائى لمعدن الإلفيت. ويبين الجدول أن المعدن غنى بعنصر الحديد سواء فى صورته الثنائية أو الثلاثية وتصل نسبة أكسيد الحديد الكلية ٤٩,٦%. أى أن حوالى نصف المكون الكيميائى للمعدن هو أكسيد الحديد ويتحول المعدن لصورة جيلاتينية مع حامض الهيدروكلوريك. نسبة أكسيد المنجنيز قد تصل إلى حوالى ٨,٥% (دانا ودانا ١٩٩٧ Dana and Dana).

جدول ٣-٧: التحليل الكيميائى للإلفيت

الأكسيد	١	٢
SiO_2	٢٩,٣٠	٢٩,٣٦
Fe_2O_3	٢٠,٣٠	١٩,٥٥
FeO	٣٣,٥٠	٣٥,٢٠
CaO	١٣,٧١	١٣,٦٩
MnO	١,٩٧	١
H_2O	١,٩٠	٢,٢٠
المجموع	١٠٠,٦٨	١٠٠,١٠

التحليل (١) إلفيت من إليماوساك، جرينلاند Ilimaussaq intrusion, Greenland. http://www.minsocam.org/msa/handbook/

التحليل (٢) إلفيت (كوتسوف ١٩٦٨ Kostov).

ويسهل تغاير معدن الإلفيت بعمليات التحول السائلى Metasomatism حيث يتحول إلى معدن السيدريت Sidrite $FeCO_3$ (شكل ٣-٢٩)، حيث يحل CO_2 بإستمرار محل مجموعة السيليكا فيما يعرف CO_2-metasomatism. ويأخذ السيدريت نفس الشكل المنشورى الأولي للإلفيت مكوناً أشكال خادعة متغايرة Alteration pseudomorphs وتشمل هذه العملية أيضاً تكوين معدن الكالسيت $CaCO_3$.

الصفات الفيزيائية والبصرية



شكل ٣-٢٩: معدن السيدريت الثانوى ($FeCO_3$) بعد إحلاله لمعدن الإلفيت من منجم نيكولافيسكى بروسيا (حجم الصورة ٥,٥x٤سم). Nikolaevskiy mine Russia

اللون أسود حديدى أو رمادى غامق (شكلى٣-٢٧، ٣-٢٨). فى الضوء المنعكس اللون رمادى فاتح إلى رمادى مزرق وأحمر إلى بنفسجي. البريق شبه فلزى والمعدن معتم إلا أنه نصف شفاف فى الحبيبات الناعمة ومخدش الإلفيت أسود وأحياناً بنى أو أخضر. الصلادة من ٥,٥-٦ والإنفصام مميز فى الإتجاهين {001} و{010}. المكسر غير مستوى والمعدن صلب Brittle. الوزن النوعى المحسوب = ٤,٠٦٤ والمقاس = ٣,٩٩-٤,٠٥. التفرق قوى ويزداد الإمتصاص فى المعدن فى الإتجاه من X إلى Y إلى Z. التغير اللوني قوي حيث يكون فى الإتجاه X أخضر غامق وفى الإتجاه Y بنى أصفر إلى بنى غامق وفى الإتجاه Z بنى غامق. المعدن ثنائى المحور موجب وتبلغ معاملات الانكسار ألفا (α)= ١,٧٢٧ وبيتا (β) = ١,٨٧٠ وجاما (γ) = ١,٨٨٣ وقرينة الانكسار المزدوج (δ) = ٠,١٥٦. الزاوية البصرية ($2V$)= ٢٠-٣٠ درجة.

التواجدات والصحبة المعدنية

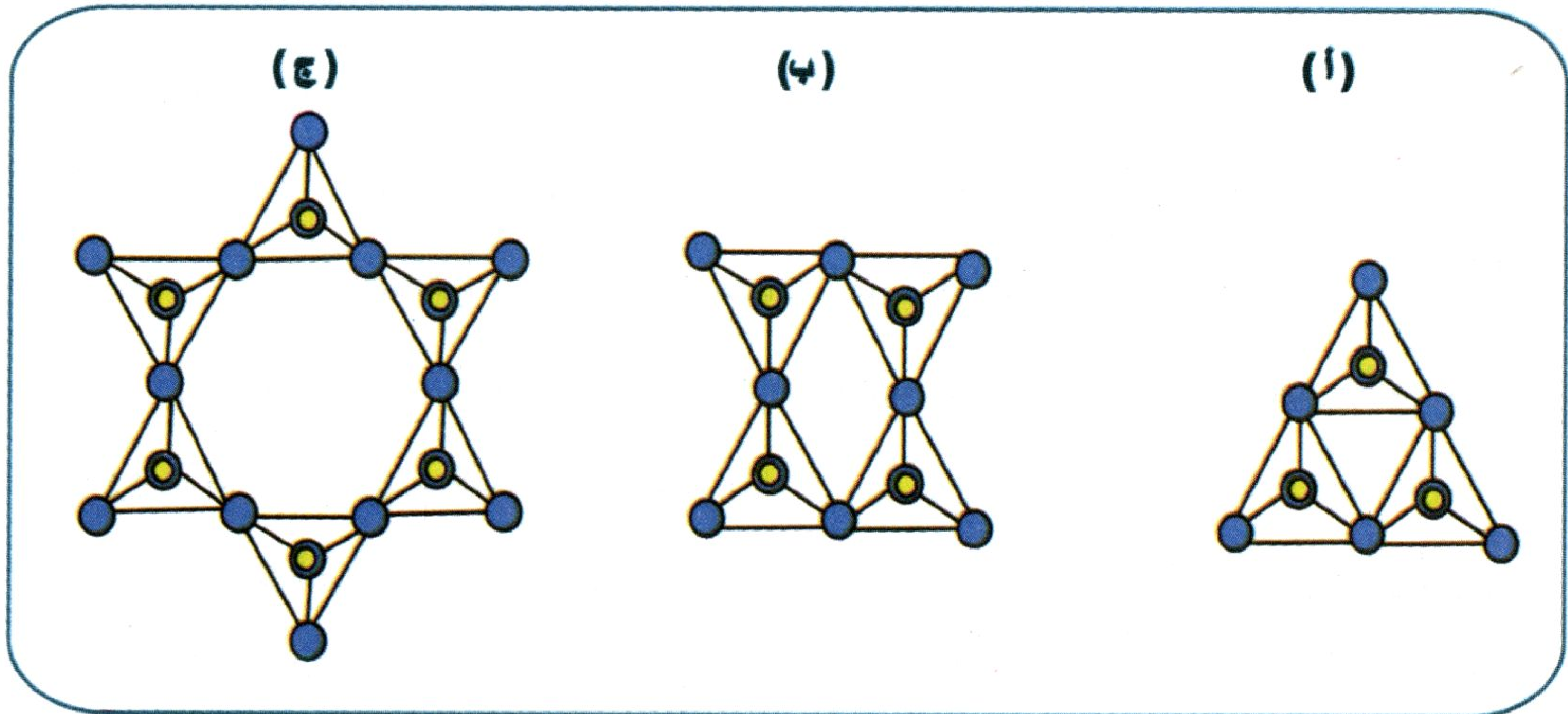
يتواجـــد الإلفيت فى الصخور المتأثـــرة بعمليات التحول السائلي وفى رواسب الحديد والزنك والنحاس وفى السيـــانيت وفى الحجـــر الجيرى والدولوميت المتحـــول مع المعادن السيليكات الكلسية الأخرى. والمعادن المصاحبة هى الزيولايت والجارنت والكوارتز والهيدنبيرجيت والأمفيبول والسفاليريت والفلوريت. ويتواجد المعدن فى العديد من الأماكن من أهمها جزيرة إلبا فى ريومارينا بإيطاليا وتيرول بالنرويج وفى سانت أندرياسبيرج وساكسونى بألمانيا وجزر سيكلادبس باليونان وفى منجمى سوفيتسكيج الأول ونيكولافيسكى بروسيا ومنجمي كاميوكا وأوبيرا باليابان وفي جبال دراجون بأريزونا بالولايات المتحدة الأمريكية.

الباب الرابع

المعادن السيليكاتية الحلقية

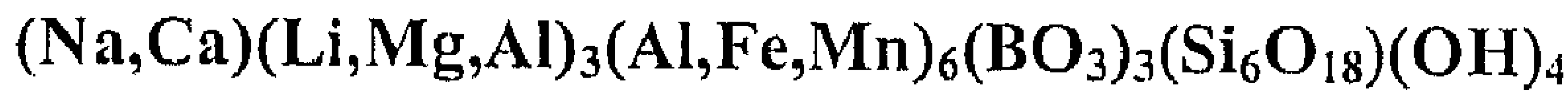
Cyclosilicates

تُعد المعادن السيليكاتية الحلقية إحدى طويفات المعادن السيليكاتية الصغيرة العدد نسبياً ولكنها ذات أهمية كبيرة للمشتغلين في مجال الأحجار الكريمة. تتكون المعادن السيليكاتية الحلقية من رباعيات الأوجه متصلة في شكل حلقي عن طريق إقتسام ذرات الأكسجين حيث تكون نسبة السيليكون إلى الأكسجين ١:٣. يتصل هنا ٣ أو ٤ أو٦ من رباعي الأوجه السيليكاتي ليكونوا ثلاث أشكال حلقية (شكل ٤-١)، وهم : حلقة Si_3O_9 ، حلقة Si_4O_{12} وحلقة Si_6O_{18}. وهناك أيضاً بنيات حلقية أكثر تعقيداً حيث تشتمل على أكثر من ثماني وحدات من رباعي الأوجه السيليكاتي. ومن أمثلة المعادن السيليكاتية الحلقية التي سنتناولها في هذا الباب: التورمالين والبيريل والكورديريت والأكسينيت.



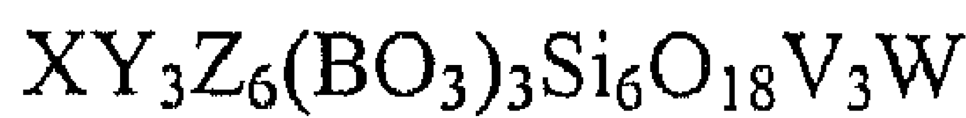
شكل ٤-١: ترتيب وحدات رباعي الأوجه السيليكاتي بطويفة المعادن السيليكاتية الحلقية. (أ) ٣ وحدات، (ب) ٤ وحدات ،(ج) ٦ وحدات.

التورمالين Tourmaline



$$(Na,Ca)(Li,Mg,Al)_3(Al,Fe,Mn)_6(BO_3)_3(Si_6O_{18})(OH)_4$$

أُشتق اسم التورمالين من الكلمة الإغريقية *Sinhalese tourmalli* والتى تعنى "بنى اللون" وهو اللون المميز لبعض أنواع التورمالين المستخدمة كأحجار كريمة من منطقة سيلون Ceylon. يُطلق اسم التورمالين على مجموعة من المعادن السيليكاتية ذات الصيغة العامة:



$$XY_3Z_6(BO_3)_3Si_6O_{18}V_3W$$

حيث أن:

X = صوديوم أو كالسيوم

Y= ليثيوم ، ماغنسيوم ، منجنيز ، حديد ، ألومنيوم ، الخ..

Z= ألومنيوم ، ماغنسيوم ، كروميوم ، حديد ثلاثى ، حديد ثنائى ، الخ..

V = مجموعة الهيدروكسيل (OH)

W= مجموعة الهيدروكسيل (OH) ، فلور (F)، أكسجين (O)

كان هناك خلط فى تسمية معادن التورمالين على مدار السنوات العديدة الماضية ويرجع ذلك إلى عدة أسباب، منها:

١- إهتمام العلماء بتحديد اسم المكون النهائى End-member المثالي لمجموعة التورمالين دون تحديد حدود استخدام هذا الاسم.

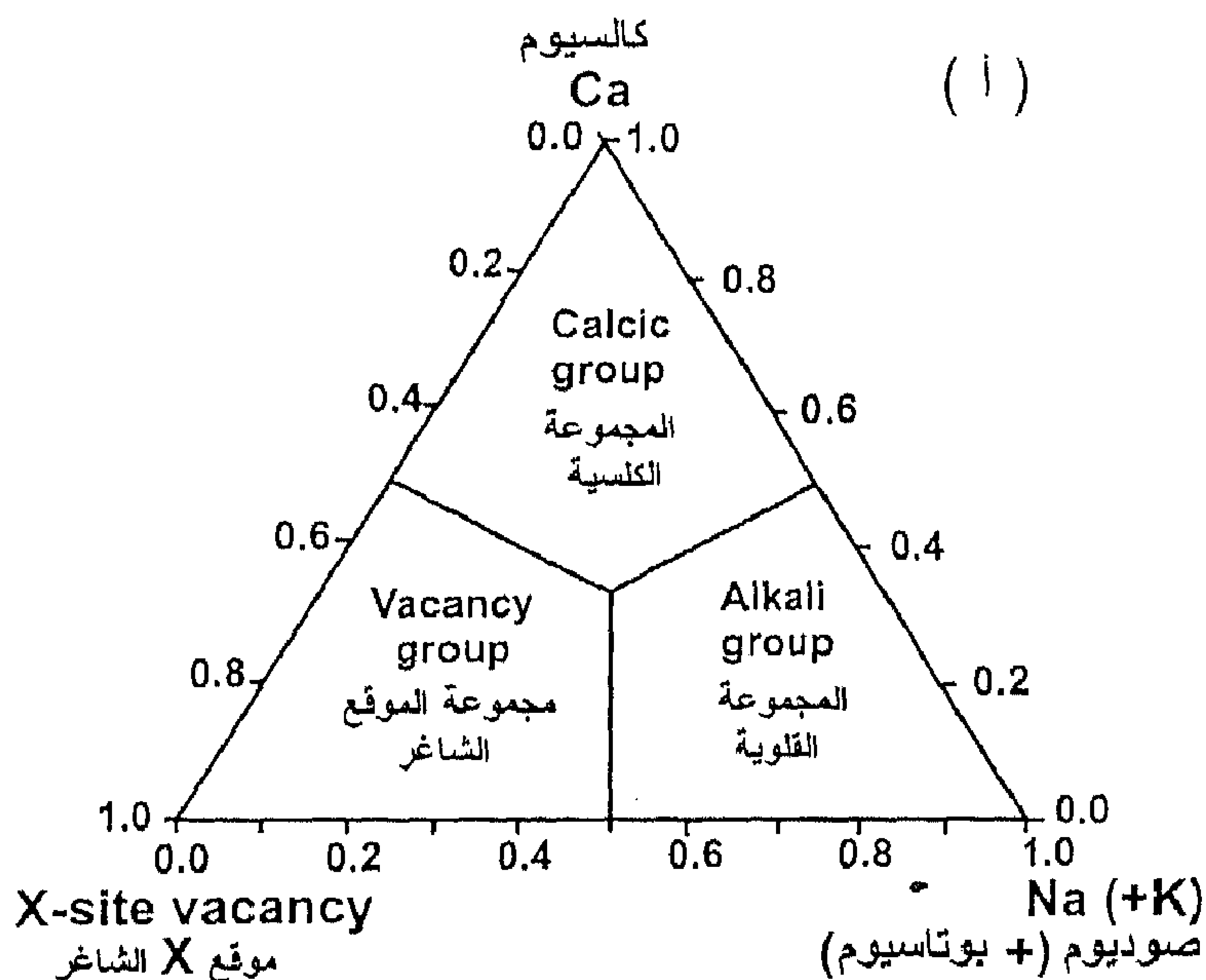
٢- إهتمام بعض التوصيفات السابقة بتحديد التركيب العام لمعادن التورمالين دون تحديد تركيب المكون النهائي.

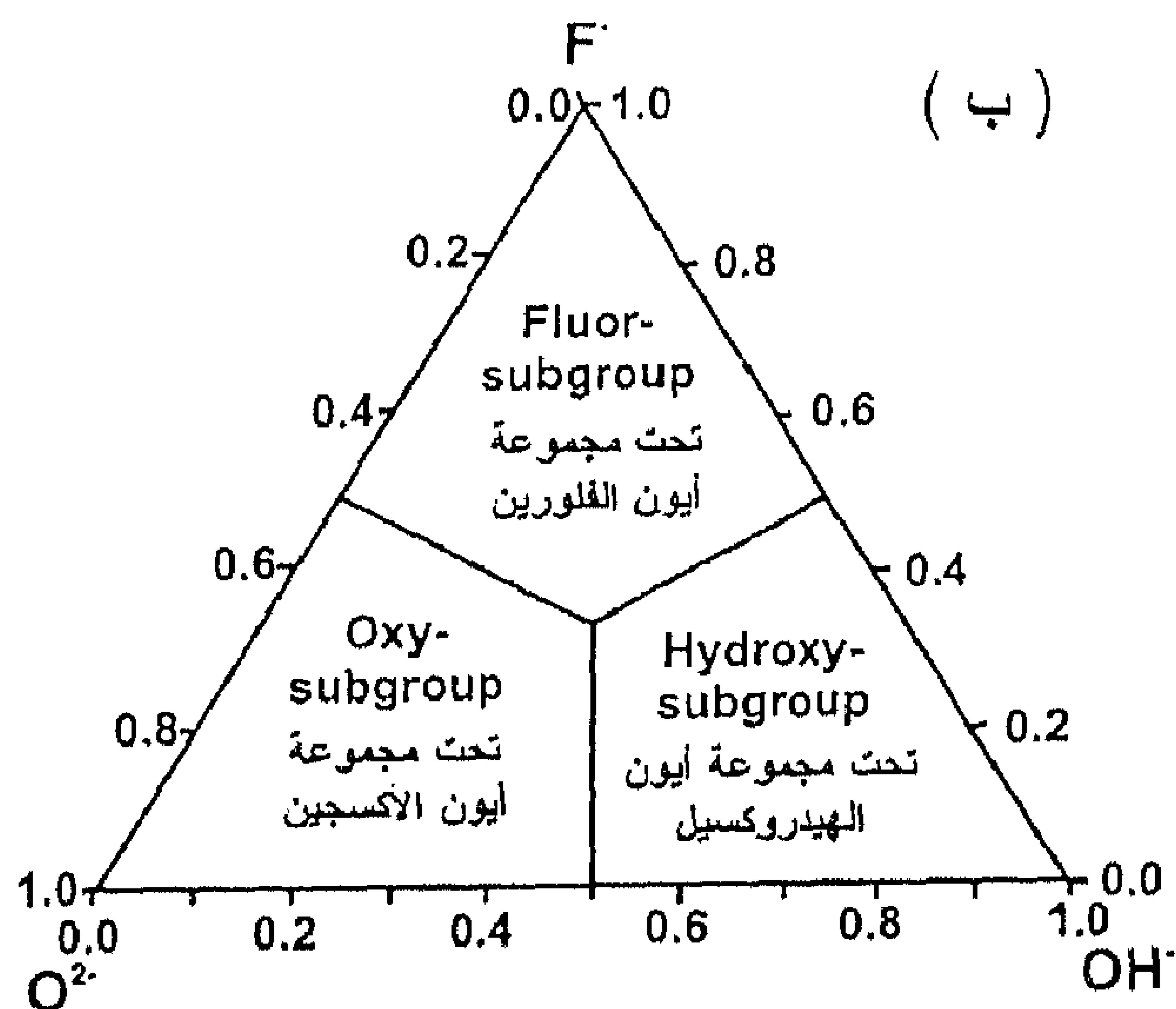
٣-كان هناك إعتقاد من العلماء أن إعطاء اسم جديد لمعدن من معادن مجموعة التورمالين يجب أن يكون فقط فى حالة ما إذا زادت نسبة المكونات الكيميائية التى تشغل المواقع المختلفة عن ٥٠%.

٤-عدم توافر المخططات الكافية لتمثيل التغيرات التركيبية لمعادن التورمالين.

لقد دفعت هذه الأسباب العديد من العلماء إلى الإهتمام بتصنيف مجموعة معادن التورمالين وعلي رأسهم هاوثورن وهنرى (١٩٩٩) Hawthorne and Henry، حيث أمكن تصنيف التورمالين إلى ثلاث مجموعات أساسية بناءً على نسبة العناصر الشاغلة للموقع X وهي: (أ) مجموعة التورمالين القلوى Alkali-tourmaline، (ب) مجموعة التورمالين الكالسي Calcic-tourmaline، (ج) مجموعة التورمالين ذات الموقع الشاغر Vacant-tourmaline group (شكل ٤-٢أ). ساعد هذا التصنيف إلى حد كبير فى فهم نشأة مجموعة معادن التورمالين بشكل يحاكي التصنيف العام لمجاميع معادن الأمفيبول والبيروكسين. وحيث أن الفلورين والأكسجين يمكن أن يحلا محل مجموعة الهيدروكسيل بالموقع W بالصيغة العامة للتورمالين، فقد أمكن تحديد مجاميع تحتية أخرى من التورمالين مثل فلور- Fluor-subgroup وهيدروكسي- Hydroxy-subgroup وأوكسي- Oxy-subgroup (شكل ٤-٢ب). حسب ما تم الإتفاق عليه من جمعية علم المعادن الدولية International Mineralogical Association (IMA)، فأن هناك أربعة عشر نوعاً من التورمالين كما هو واضح بالجدول رقم (٤-١).

وبشكل عام، يمكن القول بأن هناك خمس أنواع رئيسية من التورمالين، وهى الإلبايت Elbaite والدرافيت Dravite والسكورل Schorl واليوفيت Uvite والبيرجيريت Buergerite. يُعد الإلبايت أكثر الأنواع جاذبية من ناحية اللون مما جعله يستخدم فى كثير من الأحيان كحجر كريم. يطلق على الإلبايت أسماء متنوعة أخرى بناءً على لونه، فمثلاً يطلق اسم إنديكوليت Indicolite على النوع ذو اللون الأزرق ، بينما يسمى النوع ذو اللون الأحمر روبيلليت Rubellite ، ويسمى النوع الأخضر فيرديليت Verdelite، بينما يطلق على النوع الذي يجمع اللونين الأحمر والأخضر اسم تورمالين بطيخي Watermelon tourmaline. عادة ما تحتوى البلورة الواحدة للتورمالين على عدة نطق لونية.





شكل ٤-٢: (أ) تصنيف التورمالين إلى مجاميع بناءً على نسبة العناصر الشاغلة للموقع X. (ب) تصنيف التورمالين إلى مجموعات تحتية بناءً على إشغال الفلورين والأكسجين والهيدروكسيل للموقع W (هاوثورن وهنري ١٩٩٩).

يعتبر معدن السكورل أكثر معادن التورمالين شيوعاً حيث يتواجد كمكون أساسي أو إضافي بالصخور النارية والمتحولة. يحتوى السكورل على نسبة عالية من الحديد مما يكسبه اللون الأسود أو المعتم وهذا ما يجعله يستخدم كحجر زينة Ornamental stone وليس كحجر كريم. وعلى الجانب الأخر نجد أن الدرافيت أقل إنتشاراً من الإلبايت والسكورل ولكنه يتميز بالشكل البلوري كبير الحجم. كما يُعد اليوفيت من الأنواع النادرة لمجموعة التورمالين ويتميز ببلوراته القصيرة والحادة والخشنة Stubby والتى تختلف عن البلورات المنشورية الطويلة لأنواع التورمالين الأخرى. أما البيرجيريت فيعتبر أيضاً من الأنواع النادرة للتورمالين ويتشابه مع السكورل فى التركيب الكيميائى (تورمالين غنى بالحديد والماغنسيوم) ولكن البيرجيريت يختلف فى تواجد الحديد على صورة ثلاثية التأكسد Fe^{3+} ، بينما يوجد الحديد بالسكورل فى حالة تأكسد ثنائى Fe^{+2}. علاوة على ذلك فإن البيرجيريت يحتوى على فلورين بدلاً من الهيدروكسيل.

جدول ٤-١: أنواع التورمالين حسب ما تم الإتفاق عليه من قبل جمعية علم المعادن الدولية (IMA).

Species الأنواع	**(X)**	**(Y_3)**	**(Z_6)**	**T_6O_{18}**	**$(BO_3)_3$**	**V_3**	**W**
Alkali tourmaline التورمالين القلوى							
Elbaite إلبايت	Na	$Li_{1.5}$ $Al_{1.5}$	Al_6	Si_6O_{18}	$(BO_3)_3$	$(OH)_3$	(OH)
Schorl سكورل	Na	Fe^{2+}_3	Al_6	Si_6O_{18}	$(BO_3)_3$	$(OH)_3$	(OH)
Dravite درافيت	Na	Mg_3	Al_6	Si_6O_{18}	$(BO_3)_3$	$(OH)_3$	(OH)
Olenite* أولينيت	Na	Al_3	Al_6	Si_6O_{18}	$(BO_3)_3$	$(O)_3$	(OH)
Chromdravite كروم درافيت	Na	Mg_3	Cr_6	Si_6O_{18}	$(BO_3)_3$	$(OH)_3$	(OH)

Buergerite بيرجيريت	Na	Fe^{3+}_3	Al_6	Si_6O_{18}	$(BO_3)_3$	$(O)_3$	F
Povondraite* بوفوندرايت	Na	Fe^{3+}_3	$Fe^{3+}_4Mg_2$	Si_6O_{18}	$(BO_3)_3$	$(OH)_3$	O
Vanadiumdravite فانيديوم درافيت	Na	Mg_3	V_6	Si_6O_{18}	$(BO_3)_3$	$(OH)_3$	(OH)

Calcic tourmaline التورمالين الكلسي

Liddicoatite* ليديكواتيت	Ca	Li_2Al	Al_6	Si_6O_{18}	$(BO_3)_3$	$(OH)_3$	F
Uvite* يوفيت	Ca	Mg_3	$MgAl_5$	Si_6O_{18}	$(BO_3)_3$	$(OH)_3$	F
Hydroxy-feruvite* هيدروكسي-فيريوفيت	Ca	Fe^{2+}_3	$MgAl_5$	Si_6O_{18}	$(BO_3)_3$	$(OH)_3$	(OH)

X-site vacant tourmaline التورمالين ذو الموقع X الشاغر

Rossmanite روزمانيت	□	$LiAl_2$	Al_6	Si_6O_{18}	$(BO_3)_3$	$(OH)_3$	(OH)
Foitite* فويتيت	□	Fe^{2+}_2Al	Al_6	Si_6O_{18}	$(BO_3)_3$	$(OH)_3$	(OH)
Magnesiofoitite مجنيزيوفويتيت	□	Mg_2Al	Al_6	Si_6O_{18}	$(BO_3)_3$	$(OH)_3$	(OH)

*هذه الأنواع (المكونات النهائية End-members) تم تحويرها عن الصيغة الأصلية المقترحة لكي تعكس مكونات نهائية مناسبة (هاوثورن وهنرى ١٩٩٩).

كما إقترح هاوثورن وهنرى (١٩٩٩) عدد إضافى من أنواع التورمالين والناتج من وجود تغيرات كيميائية بالبنية البلورية للتورمالين (جدول ٤-٢) ولكن هذه الأنواع مازالت فى حاجة إلى المزيد من التوضيح .

جدول ٤-٢: أنواع إضافية مفترضة للتورمالين والمستنبطة من مواقع الإشغالات به .

Species (hypothetical) أنواع إفتراضية	(X)	(Y_3)	(Z_6)	T_6O_{18}	$(BO_3)_3$	V_3	W
التورمالين القلوى							
Fluor-elbaite فلور- إلبايت	Na	$Li_{1.5}Al_{1.5}$	Al_6	Si_6O_{18}	$(BO_3)_3$	$(OH)_3$	F
Fluor-schorl فلور- سكورل	Na	Fe^{2+}_3	Al_6	Si_6O_{18}	$(BO_3)_3$	$(OH)_3$	F
Fluor-dravite فلور- درافيت	Na	Mg_3	Al_6	Si_6O_{18}	$(BO_3)_3$	$(OH)_3$	F
Fluor-olenite فلور- أولينيت	Na	Al_3	Al_6	Si_6O_{18}	$(BO_3)_3$	$(O)_3$	F
Fluor-chromdravite فلور- كروم درافيت	Na	Mg_3	Cr_6	Si_6O_{18}	$(BO_3)_3$	$(OH)_3$	F
Hydroxy-buergerite هيدروكسي- بيرجيريت	Na	Fe^{3+}_3	Al_6	Si_6O_{18}	$(BO_3)_3$	$(O)_3$	(OH)
Oxy-elbaite أوكسي- إلبايت	Na	$LiAl_2$	Al_6	Si_6O_{18}	$(BO_3)_3$	$(OH)_3$	O
Oxy-schorl أوكسي- سكورل	Na	$Fe^{2+}Al_2$	$Fe^{2+}Al_5$	Si_6O_{18}	$(BO_3)_3$	$(OH)_3$	O
Oxy-dravite أوكسي- درافيت	Na	$MgAl_2$	$MgAl_5$	Si_6O_{18}	$(BO_3)_3$	$(OH)_3$	O
Oxy-chromdravite أوكسي- كروم درافيت	Na	$MgCr_2$	$MgCr_5$	Si_6O_{18}	$(BO_3)_3$	$(OH)_3$	O
Al-Cr-povondraite ألومنيوم- كروم - بوفوندرايت	Na	Al_3	Mg_2Cr_4	Si_6O_{18}	$(BO_3)_3$	$(OH)_3$	O
التورمالين الكلسي							
Hydroxy-liddicoatite هيدروكسي- ليديكواتيت	Ca	Li_2Al	Al_6	Si_6O_{18}	$(BO_3)_3$	$(OH)_3$	(OH)
Hydroxy-uvite هيدروكسي - يوفيت	Ca	Mg_3	$MgAl_5$	Si_6O_{18}	$(BO_3)_3$	$(OH)_3$	(OH)
Fluor-feruvite فلور- فيريوفيت	Ca	Fe^{2+}_3	$MgAl_5$	Si_6O_{18}	$(BO_3)_3$	$(OH)_3$	F

Oxy-liddicoatite أوكسي- ليديكواتيت	Ca	$Li_{1.5}Al_{1.5}$	Al_6	Si_6O_{18}	$(BO_3)_3$	$(OH)_3$	O
Oxy-uvite أوكسي- يوفيت	Ca	$MgAl_2$	Mg_2Al_4	Si_6O_{18}	$(BO_3)_3$	$(OH)_3$	O
Ferri-uvite فيري- يوفيت	Ca	$MgFe^{3+}_2$	$Mg_2Fe^{3+}_4$	Si_6O_{18}	$(BO_3)_3$	$(OH)_3$	O
Oxy-feruvite أوكسي- فيريوفيت	Ca	$Fe^{2+}Al_2$	$MgAl_5$	Si_6O_{18}	$(BO_3)_3$	$(OH)_3$	O
Ferri-feruvite فيري - فيريوفيت	Ca	$Fe^{2+}Fe^{3+}_2$	$Mg_2Fe^{3+}_4$	Si_6O_{18}	$(BO_3)_3$	$(OH)_3$	O

التورمالين ذو الموقع X الشاغر

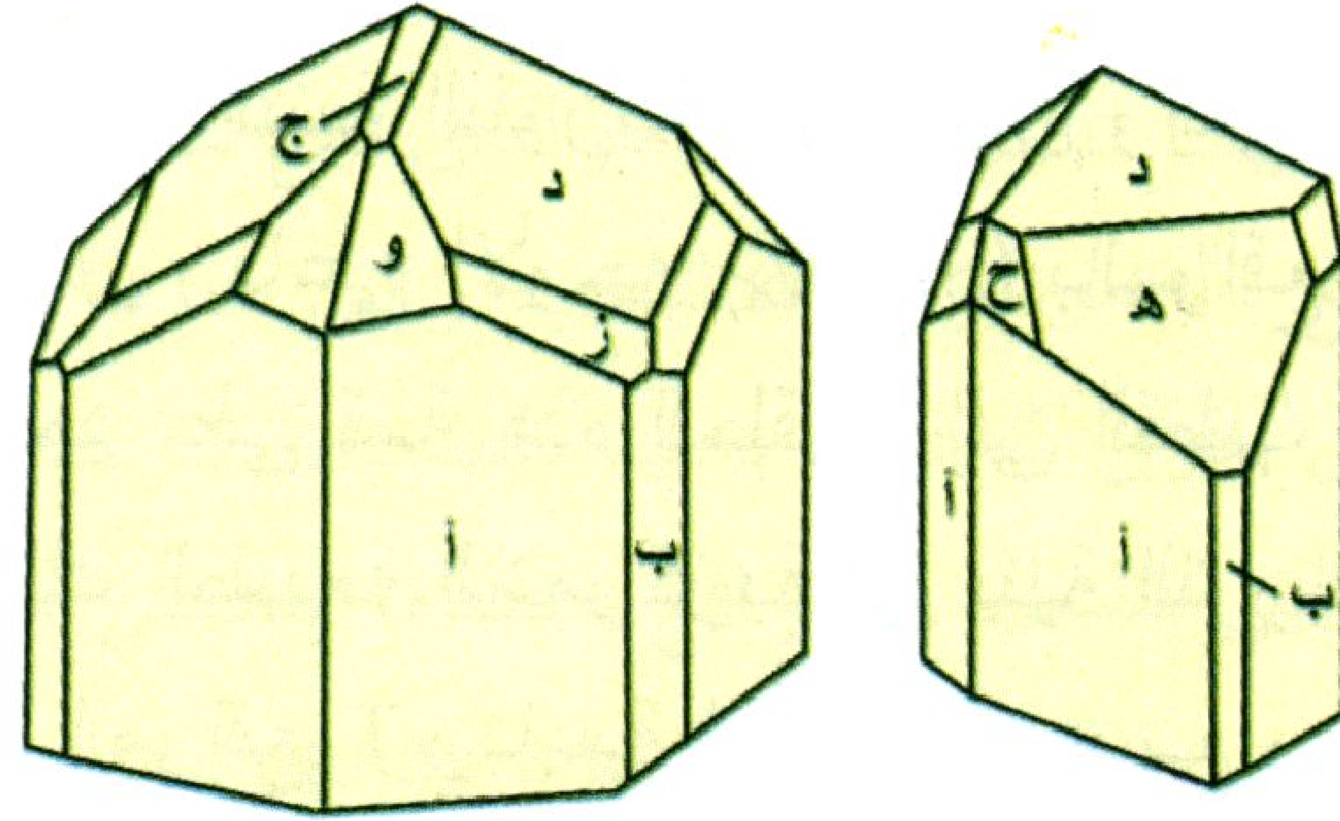
Fluor-rossmanite** فلور- روزمانيت	☐	$LiAl_2$	Al_6	Si_6O_{18}	$(BO_3)_3$	$(OH)_3$	F
Fluor-foitite** فلور- فويتيت	☐	Fe^{2+}_2Al	Al_6	Si_6O_{18}	$(BO_3)_3$	$(OH)_3$	F
Fluor-magnesio-foitite** فلور- مجنيزيوفويتيت	☐	Mg_2Al	Al_6	Si_6O_{18}	$(BO_3)_3$	$(OH)_3$	F
Oxy-rossmanite أوكسي- روزمانيت	☐	$Li_{0.5}Al_{2.5}$	Al_6	Si_6O_{18}	$(BO_3)_3$	$(OH)_3$	O
Oxy-foitite أوكسي - فويتيت	☐	$Fe^{2+}Al_2$	Al_6	Si_6O_{18}	$(BO_3)_3$	$(OH)_3$	O
Oxy-magnesio-foitite أوكسي- مجنيزيوفويتيت	☐	$MgAl_2$	Al_6	Si_6O_{18}	$(BO_3)_3$	$(OH)_3$	O
Oxy-Mg-ferri-foitite أوكسي - ماغنسيوم- فيري - فويتيت	☐	$MgFe^{3+}_2$	Fe^{3+}_6	Si_6O_{18}	$(BO_3)_3$	$(OH)_3$	O
Oxy-ferri-foitite أوكسي – فيري - فويتيت	☐	$Fe^{2+}Fe^{3+}_2$	Fe^{3+}_6	Si_6O_{18}	$(BO_3)_3$	$(OH)_3$	O

**هذه الأنواع من الممكن تواجدها نظرياً، ولكن فعلياً غير موجودة وذلــك لتأثير وجود الفلورين على موقع الإشغالات X .

البنية البلورية

يتبلور التورمالين في فصيلة السداسي حيث تبلغ أبعاد خلية الوحـــدة: أ= ١٥,٨٤-١٦,٠٣ ، ج= ٧,١٠-٧,٢٥ أنجستروم، مقدار ماتمتلكه خلية الوحدة من الذرات (Z)= ٣؛ مجموعة النقطة 3m والمجموعة الفراغية $R3m$. تتخــذ

بلورات التورمالين أشكال منشورية ثلاثية ذات إستطالة في إتجاه المحور البلوري "c". يظهر القطاع العرضي من هذه البلورة على شكل مثلث ذو زوايا بين وجهية مستديرة (شكل ٤-٣). كما يتواجد التورمالين على شكل كتل متوازية أو شعاعية. تنتهي البلورات عادة بالمسطوح والأهرامات الثلاثية المزدوجة.



شكل ٤-٣: بعض من الأشكال البلورية المميزة لمعدن التورمالين. تتكون البلورة من المنشور (أ، ب)، معيني الأوجه (ج ، د ، هـ) ومثلثي الأوجه (و، ز، ح).

رغم التقدم في تقنيات الأجهزة المعملية، إلا أن البنية البلورية لمعظم أنواع التورمالين لازالت غير مفهومة بشكل جيد، ويرجع ذلك إلى الأسباب التالية:

١- حدوث تفاعلات معقدة بين الأيونات في المواقع الكاتيونية المتعددة. وتعود معظم هذه التفاعلات إلى الحديد وتؤثر بشكل كبير على اللون، والتغير اللوني والصفات السبيكتروسكوبية وذلك عن طريق تفاعلات تبادلية مزدوجة بين أيوني الحديد الثنائي والثلاثي.

٢- معظم الأجهزة المستخدمة للتحاليل الكيميائية مثل جهاز المسبار الإلكتروني Microprobe لا تستطيع قياس البورون B بالدقة الكافية كي يتسنى فهم العلاقة الكمية بين المتفاعلات والنواتج بالتفاعلات الكيميائية Stoichiometry، وكذلك الحال أيضاً بالنسبة إلى عنصر الليثيوم Li وحالات الحديد المؤكسد.

٣- يتم إهمال الإتزان القائم بين الأكسجين والهيدروجين H-O في التورمالين، والذي أدى إلى بعض الإفتراضات عن عدد ذرات الأكسجين

والهيدروكسيل فى المواقع O_1 و O_3 (سيتم معرفة المقصود بهذه المواقع بالفقرات التالية).

أدت هذه العوامل إلى إعتماد معظم الأبحاث التي تناولت التورمالين على بيانات غير كاملة مما تسبب في حدوث سلسلة من الإفتراضات عند حساب الكاتيونات بالصيغة الكيميائية.

يوضح شكل رقم (٤-٤) البنية البلورية للتورمالين والتى تتميز بحلقات مكونة من ٦ مجموعات من رباعى الأوجه (Si_6O_{18}) بالمواقع T، حيث تشير ذرات الأكسجين التى توجد على قمة هذه الحلقات إلى القطب السالب للمحور البلوري "c" وينتج عن ذلك الطبيعة اللامركزية فى بنية التورمالين Acentric nature. يشغل الأكسجين المواقع T رباعية الأوجه، مع وجود كميات موضعية بسيطة من الألومنيوم، ومن الممكن أيضاً أن يتواجد البورون بهذه المواقع (هاوثورن وأخرون ١٩٩٣ .Hawthorne et al).

تتبادل مجموعات البورات BO_3 المثلثية (شكل ٤-٤ب) مع وحدات رباعي الأوجه والتى تقع موازية للمستوى {1000}. دلت معظم الدراسات البلورية على أن هناك كميات من البورون بهذا الموقع (هاوثورن ١٩٩٦ Hawthorne، بلووداكس وأخرون ١٩٩٩ .Bloodaxe et al). ترتبط حلقات رباعي الأوجه المستوية بواسطة نوعين من وحدات ثمانى الأوجه هم Z وY. حيث يكون ثمانى الأوجه Z صغير نسبياً ومشوه إلى حد ما ويتم شغله بالكاتيونات ثلاثية الشحنة مثل الألومنيوم والحديد الثلاثي والكروميوم والفانيديوم $Al^{3+}, Fe^{3+}, Cr^{3+}, V^{3}$، ولكن قد يحتوى أيضاً على كميات ذات مغزى من الكاتيونات الثنائية مثل الماغنسيومMg^{2+} ومن المحتمل أيضا الحديد الثنائى Fe^{2+}. يقوم الكاتيون بالموقع Z بدور حلقة الوصل بين أجزاء البنية من خلال محور ثلاثي التماثل Three-fold screw axis.

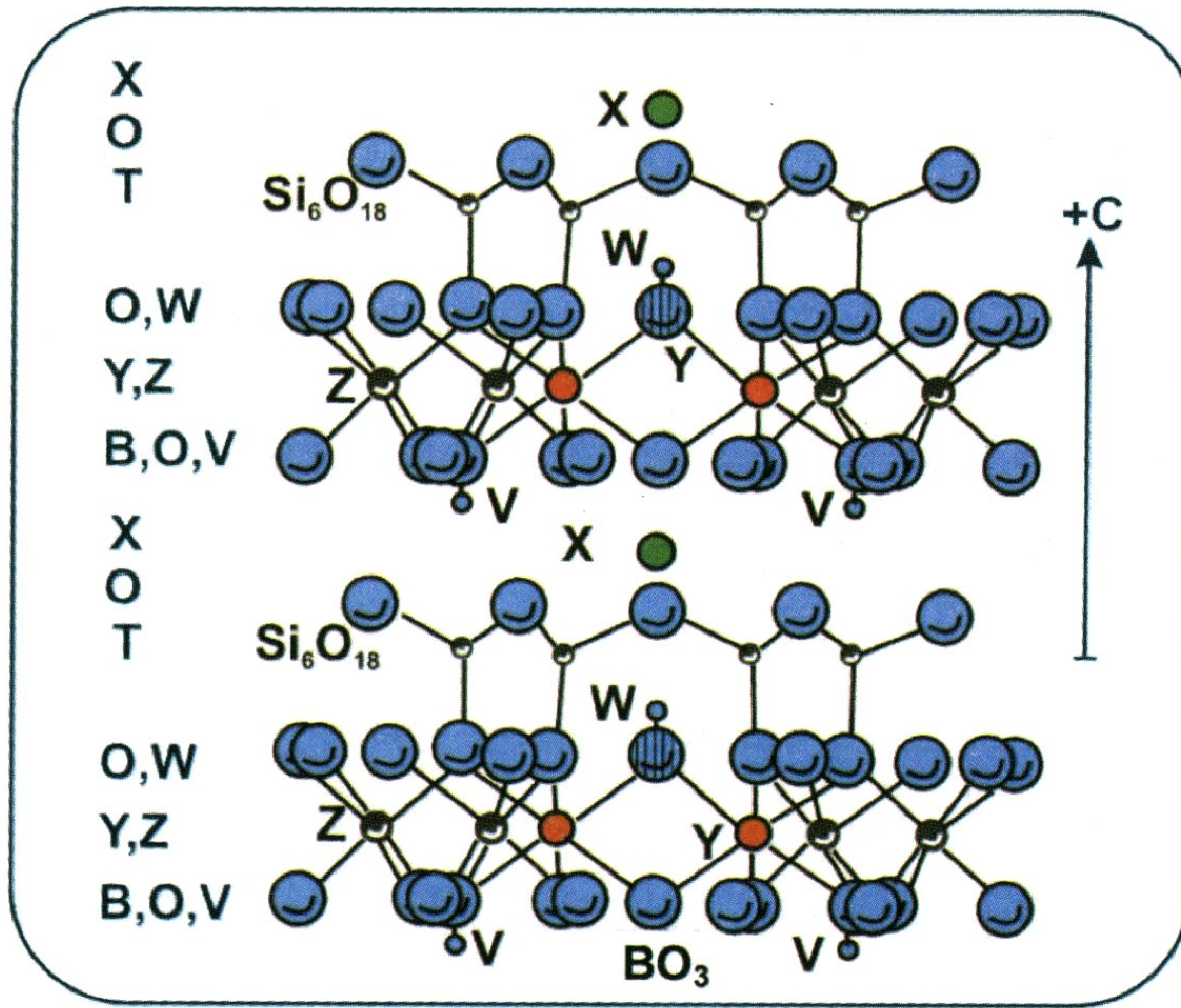
على الجانب الأخر، يكون ثمانى الأوجه Y منتظم نسبياً ويتم شغله بمجموعة كبيرة من الكاتيونات المتعددة التكافؤ، غالباً مثل التيتانيوم والحديد الثلاثي والكروميوم والفانيديوم والألومنيوم والمنجنيز والحديد الثنائي

والماغنسيوم والليثيوم. أظهرت معظم الدراسات الخاصة بالبنيـــة البلوريـــة للتورمالين بأن هناك قليل أو لا يوجد أماكن شـــاغرة بـــالموقع Y (Y site vacancy) (هـــــاوثورن وأخـــــرون ١٩٩٣ ، ماكدونالـــــد وأخـــــرون Macdonald et al. ١٩٩٣، تيلور وأخرون Taylor et al.١٩٩٥).

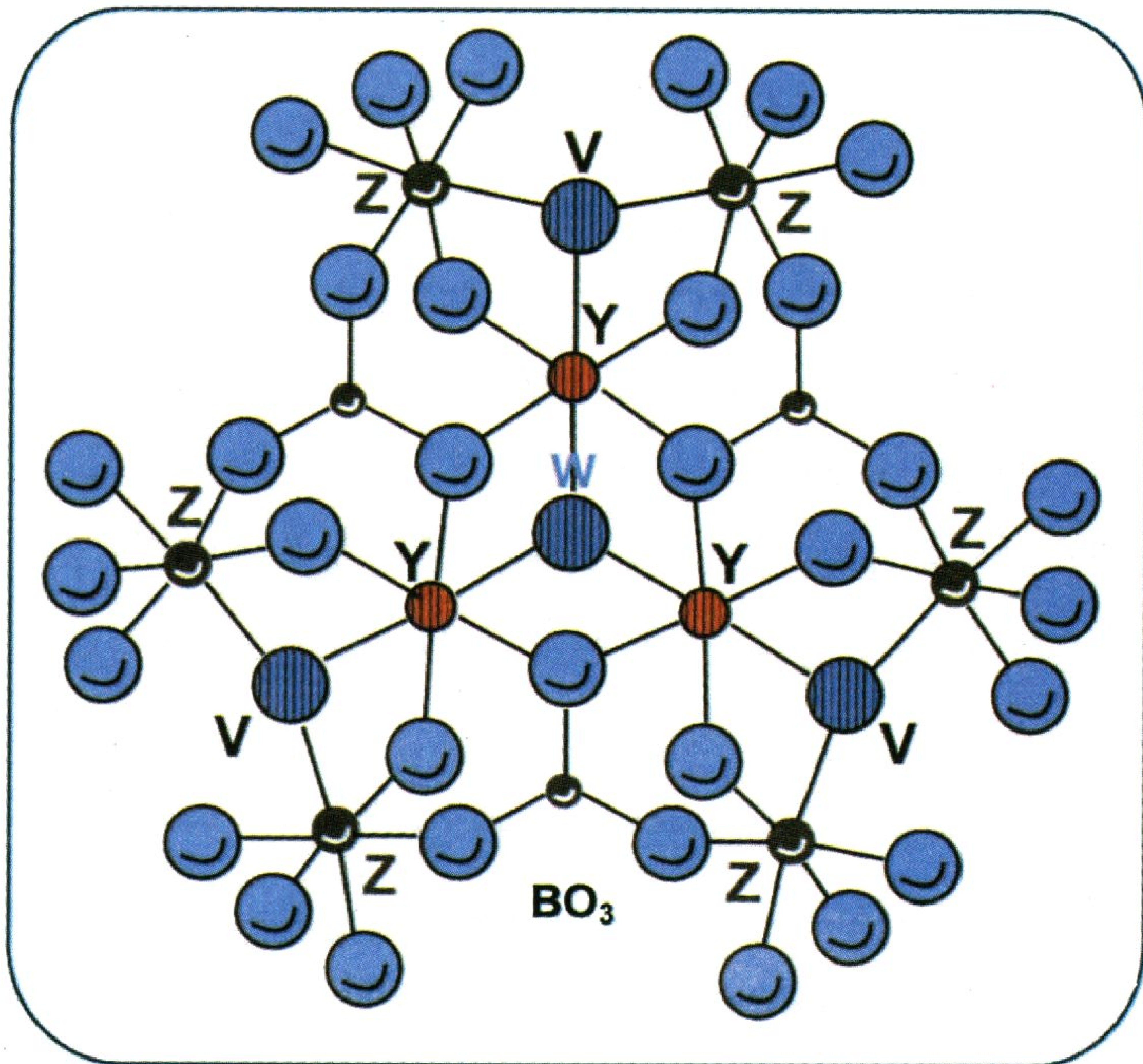
يتكّون الموقع X من منشور عكـــسي ثلاثـــى ذو تناسـق تُـساعي-Nine-coordinated trigonal antiprism، والذى يقع خلال محور ثلاثى التماثل. يتم شغل هذا الموقع بالصوديوم والكالسيوم وإلى حد ما بالبوتاسيوم، ومن الممكن إلى حد كبير أن يكون شاغراً. يوجد بالصيغة التركيبية للتورمالين عـــدد ٣١ من الأنيونات التى تشغل ٨ مواقع محددة، وهـــى مـــن O(1) إلـــى O(8) (دوناى وبـــارتون Donnay and Barton١٩٧٢). يـــشغل الأكـــسجين (O^{2-}) المواقع O(2) وO(4)-O(8). يطلق رمـــز W علـــى الموقـــع الفـــردى O(1) بالصيغة التركيبية والذى يقع فى منتصف حلقة سداســـية خادعـــة-Pseudo-hexagonal ring من وحدات رباعى الأوجه خلال محور ثلاثي التماثـــل (شكل ٤- ٤ب)، ويحتوي ذلك الموقع على مجموعة الهيدروكـــسيل OH^- والأكسجين O^{2-} أوالفلورين F^-. ويلاحظ عندما يـــسود الأكـــسجين O^{2-} بالموقع W، فأنه يلزم إعادة ترتيب محدود المدى للكاتيونات بالمواقع Y و Z ومن أمثلة ذلك ترتيب الماغنسيوم فى الموقـــع Z والألومنيـــوم بـــالموقع Y (هاوثورن وهنرى ١٩٩٩). يعد الموقع W فريد فى نوعه حيـــث يـــشترك الفلورين بذلك الموقع. يطلق رمز الموقع V على الموقع O(3) والذي يحتوي على أيون الهيدروكسيل OH^- ولكنه قد يحتوى أيضاً على كمية ملحوظة من أيون الأكسجين O^{2-}.

تتواجد غالباً الكاتيونات كبيرة الحجم مثل الصوديوم والكالسيوم فى الموقع X من البنية البلورية للتورمالين. رغم أن العديد من الأبحاث التى دلت على أن هناك أنواع من التورمالين قد تم تخليقها معملياً ولا تحتوى على مثل هذه الكاتيونات الكبيرة (مثل فويت وروزينبـــرج ١٩٧٩ Foit and Rozenberg). كما حصل الباحثـــان أيضاً على أنـــواع من التورمـــــالين المخلّقـــة والتي تحتوي علـــى مـــاغنسيوم فى الموقع X. وأظهـــرت بعـــض

(أ)



(ب)



شكل ٤-٤: البنية البلورية للتورمالين: (أ) في إتجاه المحور البلوري "c"، (ب) فـــي إتجــاه عمودي على المحور البلوري "c". (هاوثورن وأخرون١٩٩٣ .Hawthorne et al).

الدراسات أن هناك أنواع من التورمالين خالية من هذه الكاتيونـــات الكبيـــرة (Alkali-free tourmaline) التى تسمى أيضاً بالتورمالين ذو موقع X الشاغر X-site vacant tourmaline .

كيميائية المعدن

تُعد معادن التورمالين أكثر أنواع سليكات البــورون إنتــشاراً والحامــل الرئيسى للبورون بالصخور النارية والمتحولــة. تُعتبــر كميـــة البـــورون بالتورمالين نقطة إهتمام للباحثين بعلم المعادن والجيوكيمياء والذين يدرســون سلوك البورون ونظائرة بالأنظمة الطبيعية. دلت الدراسات الحديثـــة لحيــود الأشعة السينية X-Ray Diffraction على أن البورون يتواجد بموقع فردى ذو تناسق مع ثلاث ذرات من الأكسجين. من المفترض بشكل عام أن البـــورون يتواجد بكميات تصل إلى ٣ ذرات لكل وحدة صـــيغة 3 atom per formula unit ويشغل الموقع B ذو المسطح الثلاثى (شكل ٤-٤). ولكن هناك بعــض الدراسات التى أظهرت وجود بعض أنواع من التورمالين تحتوى على كميات أكبر من البورون (ديـــار وأخـــرون Dyar et al. ١٩٩٤). لقــد حــصل نوفوزهيلوف وأخرون (١٩٦٩) .Novozhilov et al علـــى أدلـــة باســـتخدام الرنين الإلكتروني البارامغناطيسي Electron paramagnetic resonance على إحلال البورون محل السيليكون فى موقع رباعي الأوجه لمعدن الإلبايت. وقد أقترح سرديوتشينكو (١٩٨٠) Serdyuchenko أن المزيـــد مـــن البـــورون لايسكن فقط موقع رباعى الأوجه السيليكاتي ولكن أيضاً الموقع الثلاثى حيث يحل محل مجموعات الهيدروكسيل. ويمكن القول، بشكل عـــام، أن عمليـــة تجزئة التورمالين لم يتم فهمها بشكل تام. وهذا يرجع إلى ما سبق ذكره وهو الدقة غير الكافية لمعظم الأجهزة المعملية المـــستخدمة لتحليـــل الكاتيونـــات الثلاثية والرباعية. فعلى سبيل المثال لايمكن لجهاز مثل حيود الأشعة السينية لبلورة منفردة Single Crystal X-Ray Diffraction أن يقيس البورون بنـــسبة أقل من ٠,١% بمواقع رباعي الأوجه السيليكاتي، ولكن يمكن حالياً لجهـــاز مطياف الكتلة أن يقيس نسبة أعلى للبورون (٣,١-٣,٢%) بمواقع ربـــاعي

الأوجه السيليكاتي (جيـدوتي وأخـرون Guidotti et al. ١٩٩٧ ، ديـار وآخرون Dyar et al.١٩٩٨). كذلك الحال للتحاليل الشائعة باستخدام جهـاز المسبار الإلكتروني EPMA والتي ينقصها الدقة الكافية لقياس نسبة البورون والليثيوم والحديد المؤكسد بالتورمالين.

من الممكن تواجد الليثيوم Li بكميات قليلة بالتورمـالين (جـدول ٤-٣) ويرجع ذلك إلى أن الليثيوم يميل بشدة إلى الدخول فى تركيب المـسكوفيت المتواجد مع التورمالين قبل دخوله فـى التورمـالين (هنـرى ودوتـروف Henry and Dutrow ١٩٩٦). كما أن للتورمالين محتـوى مـنخفض مـن الروبيديوم، ولكن على عكس ذلك، محتوى عالى من السترونشيوم وقد جعل هذا من التورمالين أهمية فى قياس تركيب نظائر السترونـشيوم Sr بأمـاكن التمعدنات الحرمائية (جرايفن وأخرون Griffin et al.١٩٩٦، يانج وأخـرون Jiang et al. ١٩٩٧). لا تتوقف أهمية التورمالين في قياس العمر على نظائر السترونشيوم فقط، ولكن للتورمالين أيضاً أهمية فى قياس العمـر باسـتخدام نظائر السماريوم- النيوديميوم Sm-Nd. كما يمكن أيضاً اسـتخدام محتـوى التورمالين من العناصر الأرضية النادرة REE كـدلالات لنـشأة الخامـات المعدنية (يانج وأخرون Jiang et al. ١٩٩٧).

يوجد المنجنيز بنسبة كبيرة بالتورمـالين حيـث تـصل نـسبة أكـسيد المنجنيز MnO إلى ٨,٦٦ % ويعرف هذا النوع باسم تسيليـسيت Tsilaisite وقد تم إشتقاق اسمه من جزيرة تسيليزينا Tsilaisina بمدغـشقر(شـميتزر وبانك Schmetzer and Bank ١٩٨٤).

يحتوى التورمالين على العديد من العناصر كما هو واضح من الجـدول رقم (٤-٣) ولكن هناك بعض أنواع التورمالين التي تحتوى علـى كميـات غير عادية من عنصرى النيكل والكوبالت. وتحتوى أنواع التورمالين التـى توجد بالصخور فوق المافيه المتحولة على نسبة كبيرة من النيكل والكروميوم (شاليس وأخـرون Challis et al. ١٩٩٥، ميـشاليديس وأخـرون ١٩٩٨ Michailidis et al.). فمثلاً يحتوى الدرافيت الغنى بالكروميوم (٨,٥%

جدول ٤-٣: التحليل الكيميائي للتورمالين من مناطق مختلفة.

	١	٢	٣	٤	٥
SiO_2	٣٥,١١	٣٤,٢٦	٣٤,٧٣	٣٦,٤٠	٣٦,٨٧
TiO_2	٠,٤٩	٠,٢٧	٠,١٥	٠,١٥	--
B_2O_3	١٠,٢٥	١٠,١٢	١٠,٢٩	١٠,٦٢	١١,٠٠
Al_2O_3	٣٠,٦٣	٣٣,٢٧	٣٣,٨٢	٣٣,٢٣	٤٠,٢٣
FeO	٨,٨٢	١٣,١٢	١٢,٨٠	٥,٥٠	٠,٩٨
MnO	٠,٢٧	٠,١٩	٠,١٤	٠,٠٥	٠,٣٤
MgO	٦,١١	١,٦٣	١,٨٨	٧,٣٦	--
CaO	٠,٣٤	٠,٠٤	٠,١٠	٠,٣٠	٢,٧٨
Na_2O	٢,٤٧	١,٦٨	١,٨٩	١,٩٩	١,٣٥
K_2O	--	--	٠,٠٢	٠,٠٥	--
LiO_2	--	--	--	--	٢,٣٦
H_2O	--	--	٣,٠٧	٣,١٤	٣,١٦
F	٠,٢٣	٠,٠٨	٠,٠٦	٠,١٦	١,٣٣
المجموع	٩٤,٧٢	٩٤,٦٦	٩٨,٩٥	٩٨,٩٥	١٠٠,٤
كاتيونات = ٣١ ذرة أكسجين					
Si	٥,٩٦	٥,٨٨	٥,٨٧	٥,٩٦	٥,٨٣
Ti	٠,٠٦	٠,٠٤	٠,٠٢	٠,٠٢	--
B	٣,٠٠	٣,٠٠	٣,٠٠	٣,٠٠	٣,٠٠
Al^{IV}	٠,٠٥	٠,١٢	٠,١٣	٠,٠٤	٠,١٧
Al^{VI}	٦,٠٨	٦,٦١	٦,٦٠	٦,٣٧	٧,٣٢
Fe^{2+}	١,٢٥	١,٨٨	١,٨١	٠,٧٥	٠,١٣
Mn^{2+}	٠,٠٤	٠,٠٣	٠,٠٢	٠,٠١	٠,٠٥
Mg	١,٥٤	٠,٤٢	٠,٤٧	١,٨٠	--
Ca	٠,٠٦	٠,٠١	٠,٠٢	٠,٠٥	٠,٤٧
Na	٠,٨١	٠,٤٦	٠,٦٢	٠,٦٣	٠,٤١
K	--	--	٠,٠٠٤	٠,٠١	--
Li	--	--	--	--	١,٥٠
OH^-	--	--	٣,٤٦	٣,٤٣	٣,٤٣

١= درافيت من الأرجنتين (Eastern Sierras Pampeanas, Argentina) (تورن وأخرون ٢٠٠٤ Tourn et al.).

٢= سكورل من الأرجنتين (Eastern Sierras Pampeanas, Argentina) (تورن وأخرون ٢٠٠٤ Tourn et al.).

٣= سكورل من رواسب الذهب لمنطقة بج بل، أستراليا الغربية (Big Bell, Western Australia) (يانج وأخرون ٢٠٠٢ Jiang et al.).

٤= درافيت من رواسب الذهب لمنطقة بج بل، أستراليا الغربية (Big Bell, Western Australia) (يانج وأخرون ٢٠٠٢ Jiang et al.).

٥= ليديكواتيت Liddicoatite تورمالين ذو لون أخضر غامق مزرق من مدغشقر (عن ديرلام وأخرون ٢٠٠٢ Dirlam et al.).

جدول ٤-٣ : تابع

	٦	٧	٨	٩	١٠
SiO_2	٣٧,٤٣	٣٥,٢٨	٣٥,٤٣	٣٦,٢٧	٣٥,٧٢
TiO_2	--	٠,٠٢	٠,٦٤	٠,٣٤	٠,١٧
B_2O_3	١١,١٨	١٠,٤٥	١٠,٥٤	١٠,٥٥	١٠,٣٥
Al_2O_3	٤١,١٨	٣٦,٩٣	٣٣,٥٠	٣٢,٢٧	٣٤,٩٥
FeO	٠,١٠	٠,١٥	٣,٦٤	٩,٦٨	١٣,٢٠
MnO	٠,١٠	٨,٦٦	٠,١٦	٠,٠٤	٠,٢٩
MgO	--	٠,٠١	٩,٥٣	٥,٣٣	٠,٠٠
CaO	٣,٤٦	٠,٠٦	٠,٩٣	٠,٣٧	٠,٠٥
Na_2O	٠,٩٢	٢,١٣	٢,٣٦	٢,١٨	١,٠٥
K_2O	--	٠,٠١	٠,٠٠	٠,٠٣	٠,٠٣
LiO_2	٢,٥٧	٠,٥٦	--	٠,٠١	٠,٠٤
H_2O	٣,٢٣	٢,٨٨	٣,٦٠	٣,٦٤	٣,٥٧
F	١,٣٣	٠,٨١	--	--	--
المجموع	١٠١,٥٠	٩٧,٩٥	١٠٠,٣٣	١٠٠,٧١	٩٩,٤٢
			كاتيونات=٣١ ذرة أكسجين		
Si	٥,٨٢	٥,٩٣	٥,٧٢	٦,٠٠	٦,٠٧
Ti	--	٠,٠٠	٠,٠٨	٠,٠٤	٠,٠٢
B	٣,٠٠	٣,٠٣	٣,٠٠	٣,٠٠	٣,٠٠
Al^{IV}	٠,١٨	٠,٠٧	٠,٢٨	٠,٠٠	٠,٠٠
Al^{VI}	٧,٣٦	٧,٢٤	٦,١٠	٦,٢٩	٦,٩٩
Fe^{2+}	٠,٠١	٠,٠٢	٠,٤٩	١,٣٤	١,٨٨
Mn^{2+}	٠,٠١	١,٢٣	٠,٠٢	٠,٠١	٠,٠٤
Mg	--	٠,٠٠	٢,٢٩	١,٣٢	٠,٠٠
Ca	٠,٥٨	٠,٠١	٠,١٦	٠,٠٧	٠,٠١
Na	٠,٢٨	٠,٦٩	٠,٧٤	٠,٧٠	٠,٣٤
K	--	٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠١	٠,٠١
Li	١,٦١	٠,٣٨	--	٠,٠١	٠,٠٠
OH^-	٣,٣٥	٣,٦٦	٣,٨٨	٤,٠٠	٤,٠٠

٦= ليديكواتيت Liddicoatite تورمالين عديم اللون من مدغشقر (ديرلام وأخرون Dirlam et al. ٢٠٠٢).

٧= تورمالين غني بالمنجنيز من النمسا (إرتل وأخرون Ertl et al. ٢٠٠٣).

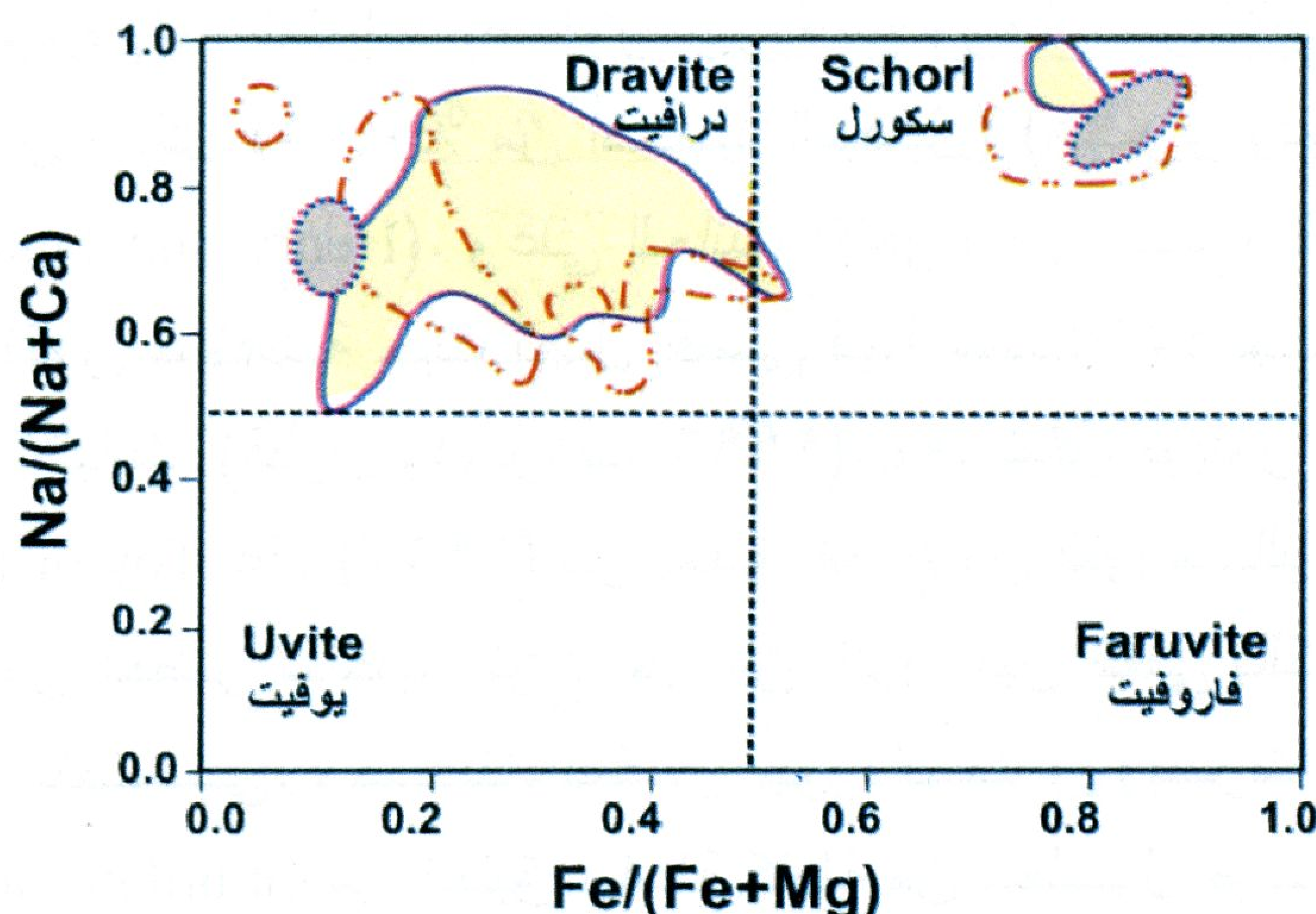
٨= تورمالين من شيست الميكا لمنطقة سكيت، جنوب الصحراء الشرقية، مصر (حراز والشرقاوي ٢٠٠١).

٩= تورمالين من صخور التورمالينيت (رسوبيات متحولة وعروق من الكوارتز المحتوية على التورمالين) لمنطقة أرونتا إينلاير باستراليا (Arunta Inlier, central Australia) (ريس وأخرون Raith et al. ٢٠٠٤).

١٠= تورمالين من صخور الجرانيت لمنطقة أرونتا إينلاير باستراليا (Arunta Inlier, central Australia) (ريس وأخرون Raith et al. ٢٠٠٤).

أكسيد الكروميوم)، والمتواجد بصخور جيرية مجاورة للسربنتينيت على نسبة عالية من النيكل (٠,٧٥% من أكسيد النيكل) (هنرى ودوتروف Henry and Dutrow ١٩٩٦). وعلى الجانب الآخر فإن نسبة الكوبالت بالتورمالين تكون منخفضة حيث تصل أقصى قيمة مسجلة ٤٥ جزء من المليون في الإلبايت (هنرى ودوتروف ١٩٩٦). وقد تمكن تويلور وتيريل Toylor and Terrell عام (١٩٦٧) من تخليق أنواع من التورمالين الغنى بالنيكل ذو لون أخضر شاحب ونوع أخر من التورمالين الغنى بالكوبالت ذو لون وردى- بنفسجي. وحديثاً، تمكن جوردانت وروبرت (١٩٩٧) Gourdant and Robert من تخليق سلسلة كاملة من محلول صلب بين الدرافيت والدرافيت الغنى بالنيكل Ni-dravite وبين الفويتيت والفويتيت الغنى بالنيكل Ni-foitite. يميل النيكل إلى التواجد بالموقع ثمانى الأوجه بالبنية البلورية للتورمالين Y على شكل $3Ni^{2+}$ (جوردانت وروبرت ١٩٩٧). تعكس هذه الدراسات مدى تقارب نصف القطر الأيوني لكل من أيوني النيكل (٠,٧٧ أنجستروم) والماغنسيوم (٠,٨ أنجستروم). كما يحتوى التورمالين أيضاً على كميات ثانوية من الزنك حيث تصل نسبة أكسيد الزنك إلى ١ نسبة وزنية (1 wt%) (فيديريكو وأخرون Federico et al. ١٩٩٨). علاوة على ذلك فقد تم تسجيل أنواع من التورمالين المتواجده مع السفاليريت برواسب الكبريتيدات حيث تحتوى على نسب عالية من الزنك (سلاك وأخرون ١٩٩٩ Slack et al.).

يمكن التعرف على نوع التورمالين إعتماداً على محتوى الحديد والماغنسيوم والكالسيوم كما هو واضح من الشكل رقم (٤-٥) (عن هنري وجيدوتي Henry and Guidotti ١٩٨٥). يظهر هذا الشكل أن معظم أنواع التورمالين في المناطق المختلفة من العالم تتكون من معدني الدرافيت والسكورل. يوضح الشكل رقم (٤-٦) أن معادن التورمالين تنتشر بالصخور الجرانيتية الفقيرة في الليثيوم وما يصاحبها من بيجماتيت وأبليت وكذلك توجد في صخور الميتابيلليت والميتابساميت، والصخور المافية وفوق المافية.



تورمالين من رواسب الذهب بمنطقتي بج بيل Big Bell وجيبسون Gibson باستراليا الغربية (يانج وأخرون Jiang et al. ٢٠٠٢).

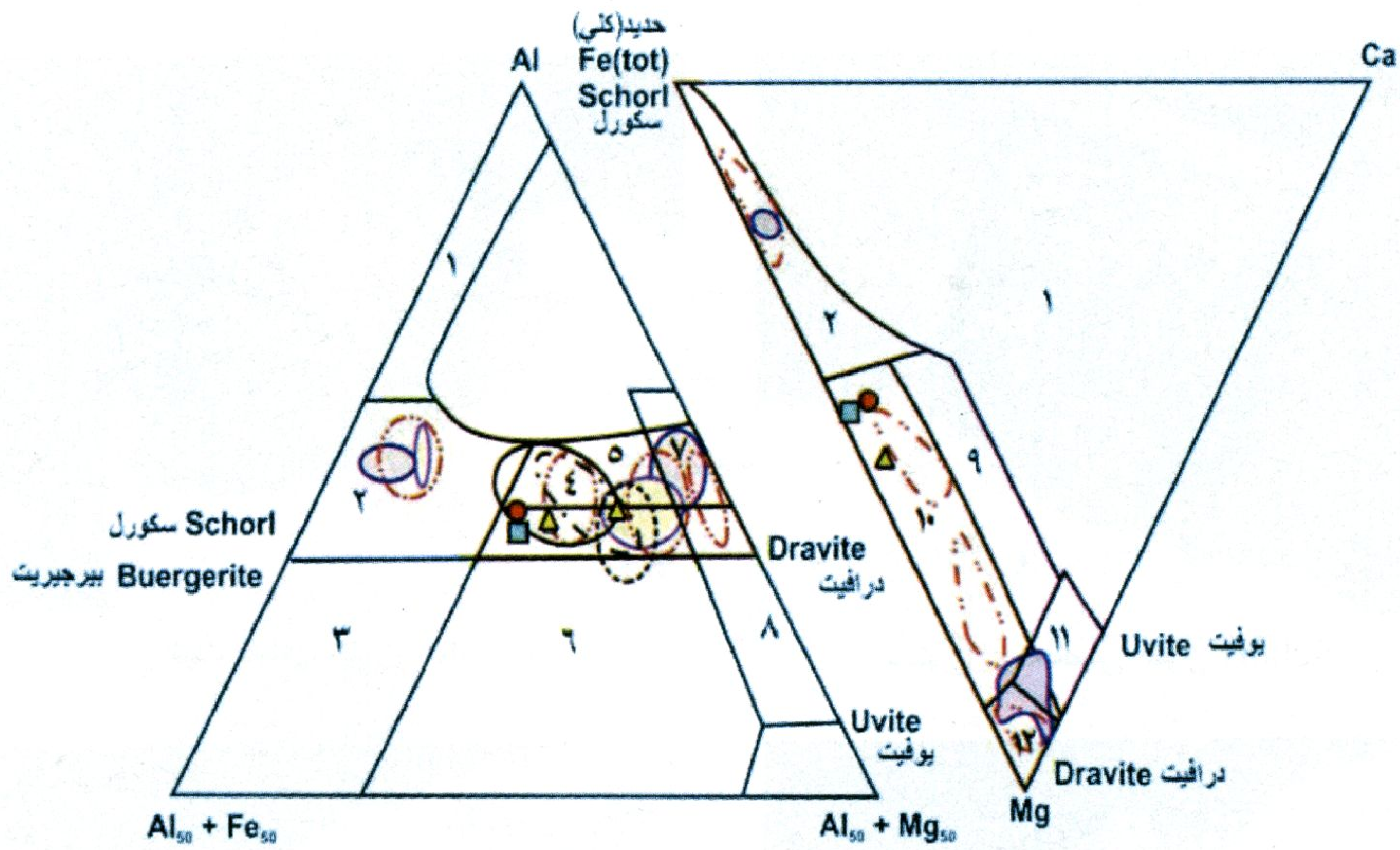
تورمالين من منطقة سكيت، الصحراء الشرقية، مصر (حراز وأخرون ١٩٩٩).

تورمالين من رواسب داشانج Dachang، الصين (يانج وأخرون Jiang et al. ١٩٩٩).

شكل ٤-٥: مخطط حديد Fe \ (حديد Fe + ماغنسيوم Mg) مقابل صوديوم Na \ (صوديوم Na + كالسيوم Ca) لأنواع مختلفة من التورمالين من بعض الأماكن بالعالم.

الصفات الفيزيائية والبصرية

تختلف أنواع التورمالين إلى حد كبير في اللون: يتميز اليوفيت باللون الأخضر وقد يكون عديم اللون أو ذو لون أبيض أو بني فاتح أو أسود، بينما يتميز السكورل باللون الرصاصي أو الأسود ويتراوح لون الإلبايت بين أحمر أو وردي أو أخضر أو أزرق أو برتقالي أو أصفر (شكل ٤-٧). يتدرج لون الدرافيت من الأصفر والبني الفاتح إلى البني الغامق، أما البيرجيريت فهو ذو لون بني غامق. يظهر معدن الليديكواتيت Liddicoatite مدى واسع من الألوان وخصوصاً في الأنواع ذات النطق المعقدة ذات الترتيب الموازي للأوجه الهرمية (شكل ٤-٨). يتراوح اللون من أحمر إلى أحمر بنفسجي متدرجاً إلى الوردي والأصفر الوردي وهناك أيضاً تدرج للون من بنفسجي إلى عديم اللون، كما يوجد أيضاً باللون الأخضر والبني والأزرق الشاحب والأصفر. البريق زجاجي وخصوصاً على أسطح الكسر.



- ■ تورمالين من أجوا دي رامون Agua de Ramon، الأرجنتين (تورن وأخرين ٢٠٠٣ Tourn et al.)
- ○ تورمالين من أمبوي Ambui، الأرجنتين (تورن وأخرين ٢٠٠٣ Tourn et al.)
- △ تورمالين من بامبا دي تامبوريو Pampa de Tamboreo، الأرجنتين (تورن وأخرين ٢٠٠٣ Tourn et al.)
- — · — تورمالين من رواسب الهندوكوش Hindu Kush، باكستان (ليك وأخرين ١٩٨٩ Leake et al.)
- ------ تورمالين من رواسب الألب النمساوي Austroalpine، النمسا (عن ريث ١٩٨٨ Raith)
- —— تورمالين من ستور مايني Store Maien، غرب جرينلاند (عن أبل وجريد ١٩٨٧ Appel And Garde)
- ○ تورمالين من رواسب الذهب بمنطقة بج بيل Big Bell باستراليا الغربية (عن يانج وأخرين ٢٠٠٢ Jiang et al.)
- ◌ تورمالين من منطقة سكيت، الصحراء الشرقية، مصر (عن حراز والشرقاوي ٢٠٠١)

شكل ٤-٦: مخطط ألومنيوم Al-حديد Fe+ألومنيوم Al- ماغنسيوم Mg+ألومنيوم Al، و كالسيوم Ca-حديد Fe-ماغنسيوم Mg للتركيب الكيميائي للتورمالين من مناطق مختلفة من العالم (جدول رقم ٤-٣). الأرقام ١-١٢ عن هنري وجيدوتي (١٩٨٥) Henry & Guidotti.

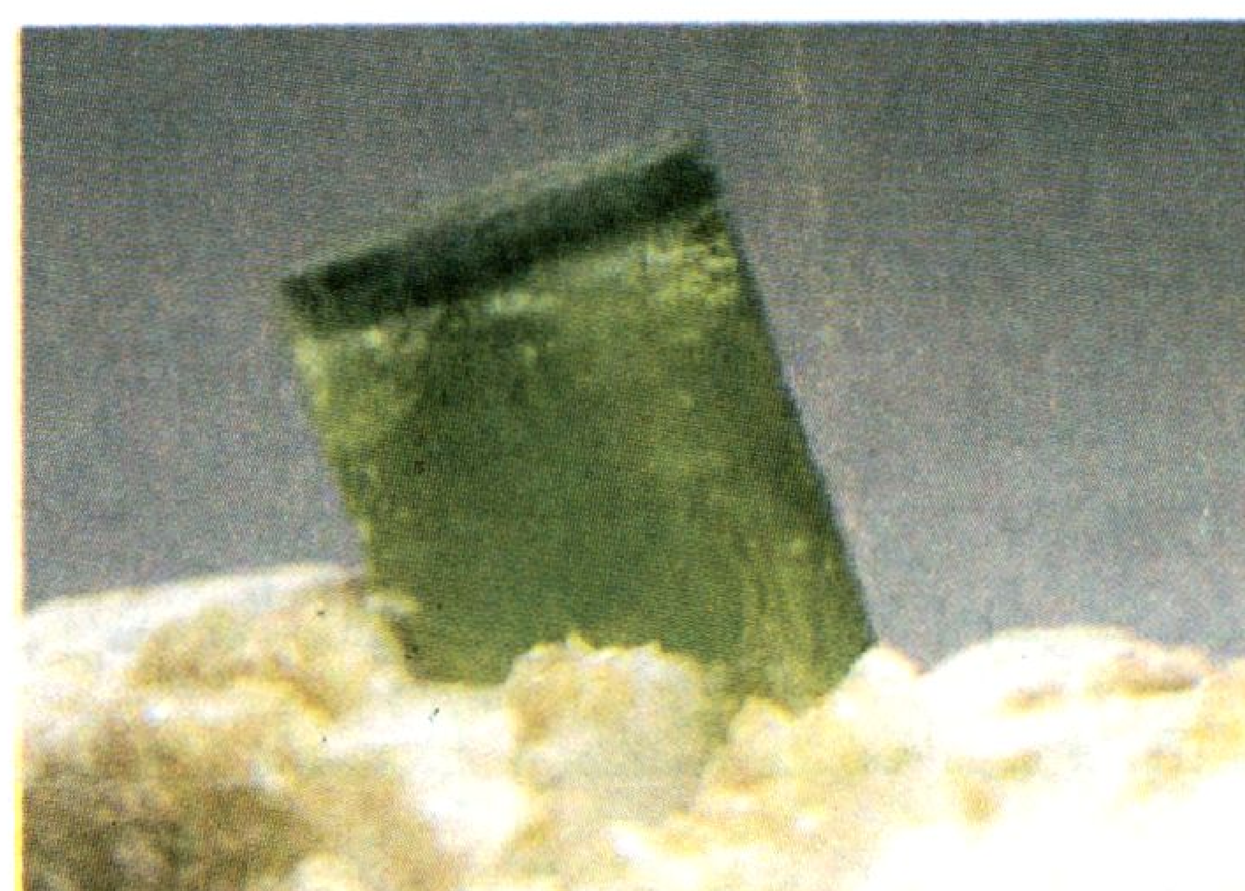
١= جرانيتات غنية بالليثيوم Li وما يصاحبها من بيجماتيت وابليت، ٢= جرانيتات فقيرة في الليثيوم Li وما يصاحبها من بيجماتيت وابليت، ٣= صخور كوارتز-تورمالين غنية بالحديد Fe^{3+} (جرانيتات مجواه بفعل المحاليل الحرمائية)، ٤= ميتابيليت وميتابساميت متواجدة مع اصناف مشبعة بالألومنيوم، ٥= ميتابيليت وميتابساميت غير متواجدة مع اصناف مشبعة بالألومنيوم، ٦= صخور كوارتز-تورمالين غنية بالحديد Fe^{3+}، صخور سيليكات جيرية وميتابيليت، ٧= صخور مافية ذات محتوى منخفض من الكالسيوم وصخور رسوبية متحولة غنية بالكروميوم والفانيديوم، ٨= صخور كربونات متحولة وصخور بيروكسينيت متحولة، ٩= ميتابيليت غني بالكالسيوم وميتابساميت وصخور سيليكات جيرية، ١٠= ميتابيليت فقير في الكالسيوم وصخور كوارتز-تورمالين، ١١= صخور كربونات متحولة، ١٢= صخور فوق مافية متحولة.


درافيت أصفر اللون Dravite


سكورل رصاصي اللون Schorl


إلبايت متعدد اللون Elbaite


إلبايت أخضر غامق Elbaite

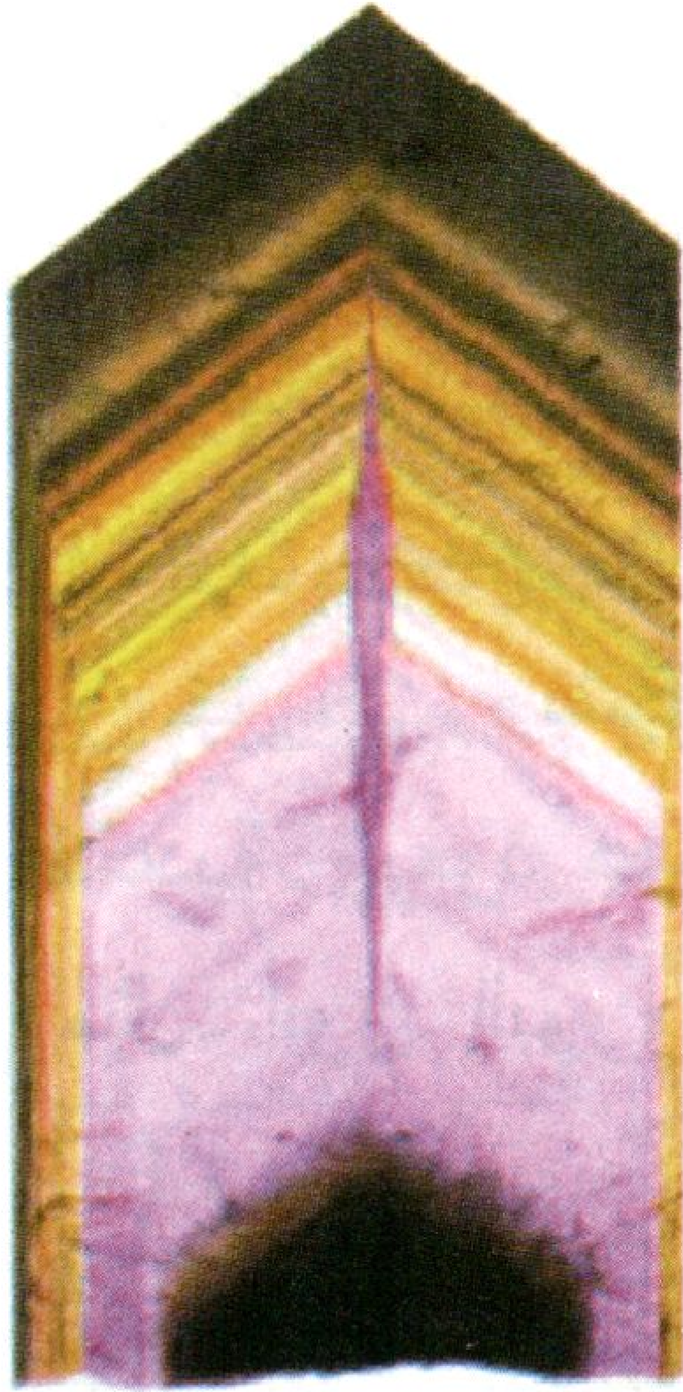

إلبايت أخضر اللون Elbaite


إلبايت أحمر Elbaite

شكل ٤-٧ : بلورات لبعض أنواع التورمالين ذات ألوان مختلفة.

المخدش أبيض. تتراوح الشفافية في هذه المجموعة بين شفافة إلى معتمة فى البلورات ذات اللون الأسود الغامق.

الصلادة =٧-٧,٥. يتراوح الوزن النوعى بين ٣ إلى ٣,٢ وذلك إعتماداً على التركيب الكيميائي. المكسر غير مستوي أو محاري. الشكل البلوري عبارة عن منشور ذو ثلاثة جوانب ممتدة، وأحياناً ممكن أن توجد البلورة على شكل منشور ذو ستة جوانب (معدن الإلبايت) أو على هيئة بلورات ذات شكل مجدول (معدن اليوفيت). ومن أهم الخصائص التى تميز معادن التورمالين خاصية الكهرباء الحرارية Pyroelectricity حيث تتكون على الأطراف المختلفة لبلورة المعدن شحنات كهربائية نتيجة لتسخينه مما يعكس التماثل الأدنى لمعادن التورمالين التى لها طرفان مختلفان نتيجة عدم وجود مستوى تماثل بينهما، ولبلورة التورمالين طرفان إحداهما حاد الزاوية والأخر منفرج الزاوية، وعند تعرض البلورة للتسخين يتولد عند الطرف الحاد الزاوية شحنة كهربائية موجبة، بينما عند الطرف المنفرج الزاوية شحنة كهربائية سالبة (بمعنى بلورة + حرارة ← توليد شحنة). تجعل هذه الخاصية للتورمالين أهمية إستراتيجية حيث أنه يستعمل فى قياس درجة حرارة القنابل والمتفجرات. ومن الخواص المميزة أيضاً لمعادن التورمالين خاصية الكهرباء الضغطية Piezoelectricity وهى الخاصية التى تتكون بموجبها على أطراف المعدن شحنات كهربائية نتيجة لتعرضه للضغط (بمعنى بلورة + ضغط ← توليد شحنة). وأهم الصفات التى يمكن بها التعرف على التورمالين بالحقل هى: الهيئة البلورية والمقطع الثلاثى واللون والصلادة.



شكل ٤-٨ : النطق اللونية لبلورة تورمالين من منطقة انجانابونونيا Anganabonoina بمدغشقر (دونا وأخرين ٢٠٠٢ .Dona et al).

يعد التورمالين من المعادن المستقرة على مدى واسع من الحرارة (تصل إلى ظروف سحنة الجرانيوليت) وضغط يصل إلى أكثر من ٦٠ كيلوبار ويعتمد مدى ثبات التورمالين على تركيب الصنف المائع الذى يتفاعل معه. ممكن أن يكون مصدر هذا المائع الصخر نفسه المحتوى على التورمالين أو أى مصدر خارجى. وبشكل عام يصبح التورمالين أقل ثباتاً عندما تصبح هذه الموائع قاعدية. ويعود عدم ثبات التورمالين إلى نشاط الأيونات المتوفرة بهذه الموائع مثل: أيون البورون B^{3+} والصوديوم Na^{+} والحديد الثنائي Fe^{2+} والحديد الثلاثي Fe^{3+} والماغنسيوم Mg^{2+} والألومنيوم Al^{3+} (مورجان ولندن ١٩٨٩ Morgan and London، دوتروف وأخرون ١٩٩٩ .Dutrow et al، لندن London ١٩٩٩).

يوضح شكل (٤-٩أ، ب) معاملات الانكسار وقرينة الانكسار المزدوج Refractive indices and Birefringence والوزن النوعي لعدد من بلورات معادن التورمالين التي تم تحليلها بواسطة دير وأخرون (١٩٦٦) .Deer et al مقابل عدد أيونات الحديد الثنائى+الحديد الثلاثى+المنجنيز $Fe^{+2}+Fe^{+3}+Mn$. يوضح الشكل أن محتوى المنجنيز والحديد بالتورمالين له دور كبير فى معاملات الانكسار والوزن النوعي، حيث تزداد قرينة الانكسار المزدوج بزيادة محتوى الحديد. التغير اللونى Pleochroism في المعدن مميز ويتراوح بين أسود وبني وأخضر وأزرق وأصفر وأحمر أو وردى وعادةً ما يخفى لون المعدن وبخاصة الداكن منه ظاهرة التغير اللونى. المقطع العرضى سداسي كاذب Pseudohexagonal إلى ثلاثي. التورمالين معدن أحادي المحور سالب، حيث معاملات الانكسار (ω) = ١,٦٤٥-١,٦٧٠ و (ϵ) = ١,٦٢٥-١,٦٤٠ وقرينة الانكسار المزدوج (δ) = ٠,٠٢٠ – ٠,٠٣٠.

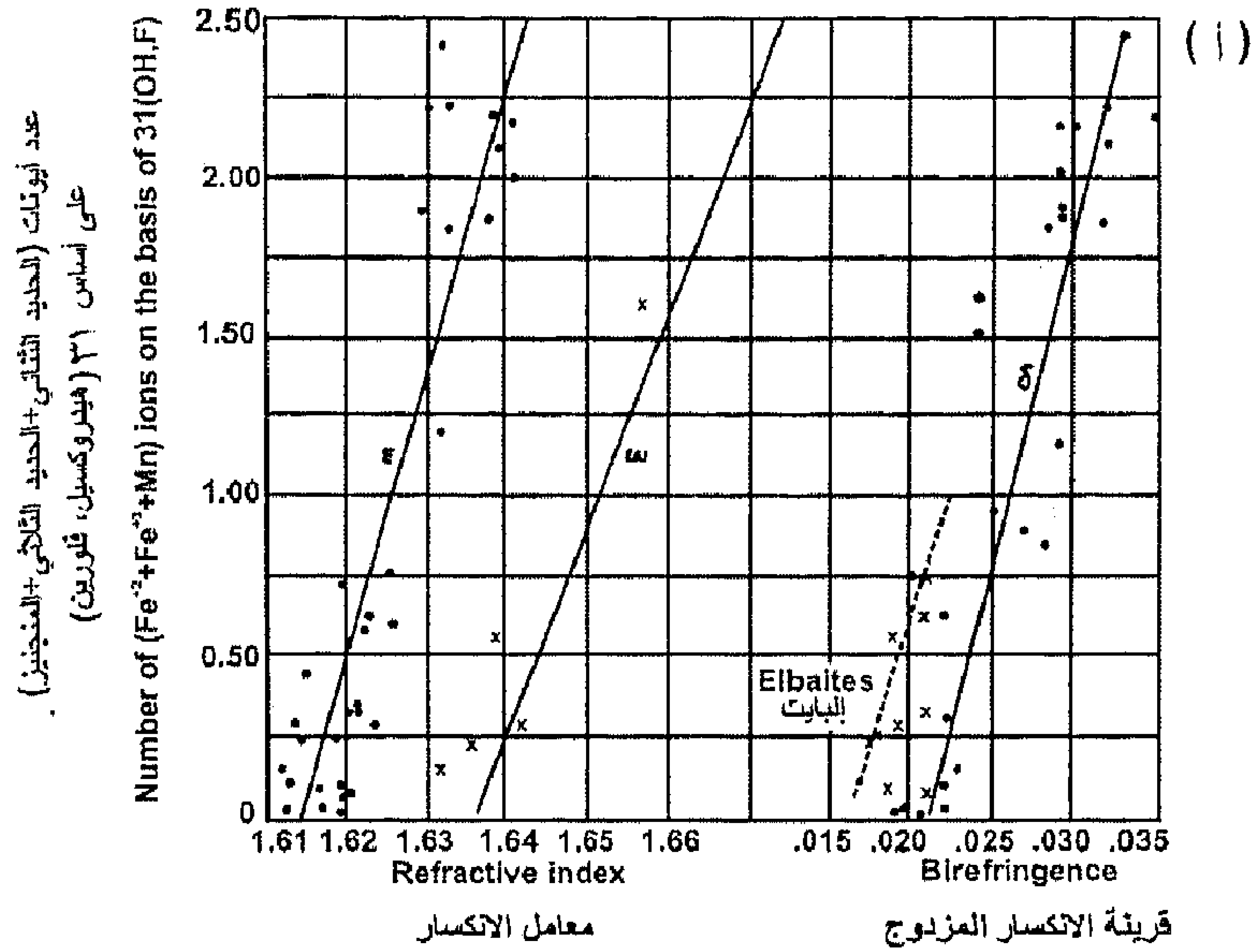
التواجدات والصحبة المعدنية

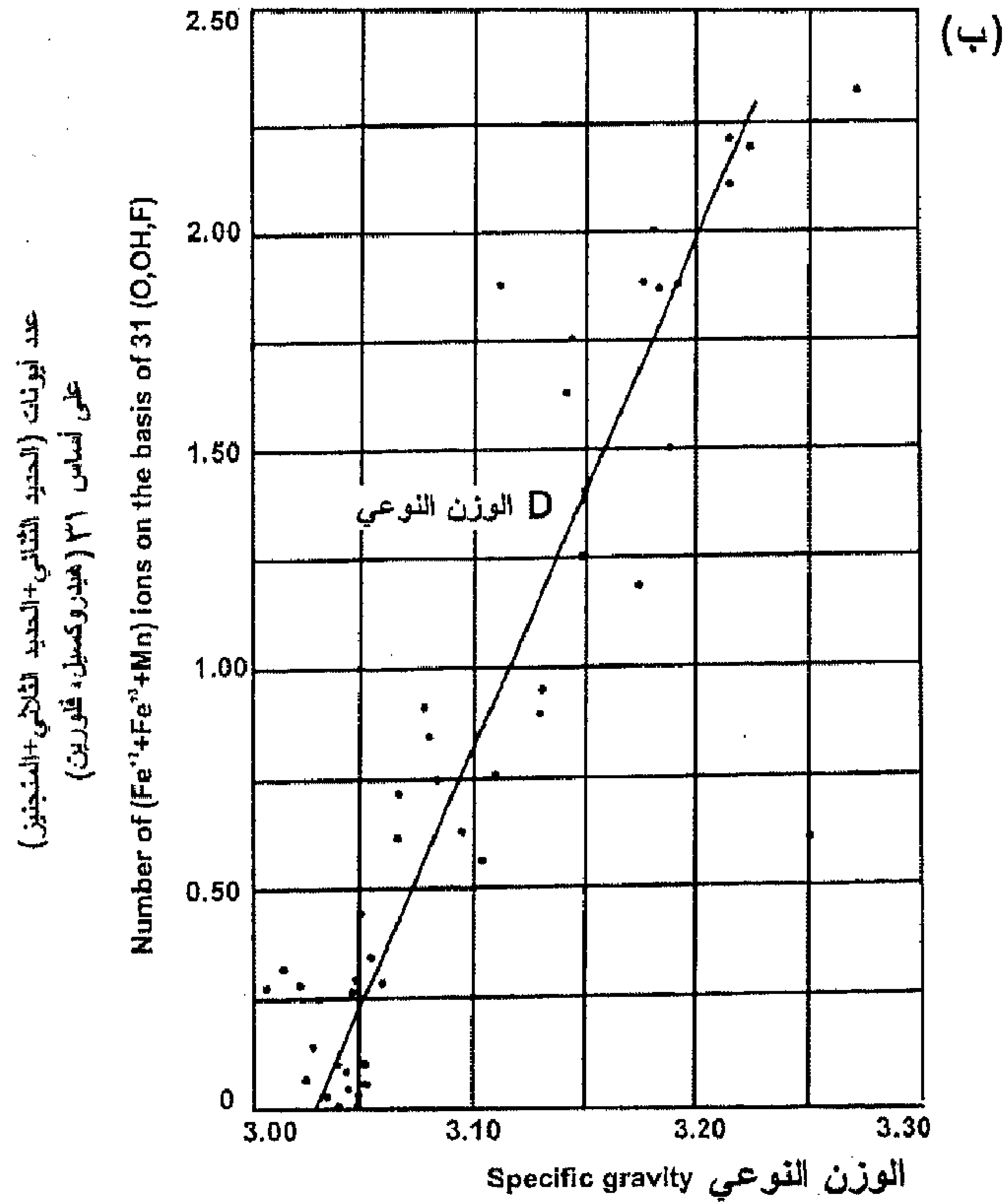
يسمح المدى الواسع لثبات التورمالين بتواجده فى بيئات جيولوجية مختلفة. يتواجد التورمالين بالصخور المتحولة كأنواع وتركيب مختلف تحت ظروف ودرجات تحول مختلفة. رغم أن التورمالين يتواجد بنسب محدودة

من ضمن محتويات الصخور، إلا أن الصخور الغنية بالتورمالين يطلق عليها اسم تورمالينيت Tourmalinites، وتحتوى هذه الصخور على نسبة من التورمالين تتراوح بين ١٥-٢٠% من نسبة الحجم الكلي للصخر (نيكولسون Nicholson١٩٨٠، سلاك وأخرون Slack et al. ١٩٨٤). لقد تم التعرف على التورمالينيت فى بيئات جيولوجية مختلفة وخصوصاً بالجرانيت المتعرض لعمليات تحول سائلي Metasomatism وتتابعات الصخور الرسوبية المتحولة (جاربا Garba ١٩٩٦، سلاك Slack ١٩٩٦).

يساعد التغير في التركيب الكيميائي للتورمالين فى التعرف على المتغيرات الكيميائية والفيزيائية التي تسود أثناء تكّون الصخر الحاوي عليه. كما أن مقاومة التورمالين للتجوية الكيميائية تجعل له القدرة على الإحتفاظ ببصمات كيميائية متعددة لدور المحاليل الحرمائية والأحداث التحولية.

يتواجد التورمالين فى أنواع معينة من البيجماتيت الجرانيتى وفي الصخور الرسوبية والبركانية المعرضة للتجويه من جراء فعل المحاليل الحرمائية وعروق الكوارتز المتكونة بفعل المحاليل الحرمائية. كما تصاحب الصخور الغنية بالتورمالين أنواع مختلفة من رواسب الخامات والتى تشمل عروق وجرايزن Greisen وسكارن ذات العلاقة بصخور الجرانيت وكذلك أنابيب البريشيا والرواسب البورفيرية والتي تُعتبر مصدر إقتصادى للقصدير Sn والتنجستين W والموليبدينم Mo والذهب Au والنحاس Cu والفلزات القاعدية Base metals، وعلى عكس ذلك فإن التورمالينيت، والذى يحتوى على تورمالين ما بين ١٥-٢٠ % من الحجم الكلي للصخر، له نشأة مختلفة ولا علاقة له بالصخور الجرانيتية. تصاحب بعض من تمعدنات التورمالين المعادن الفلزية الطبقية أو المحصور بين الطبقات Stratiform to Stratabound ورواسب التنجستين Tungsten (سلاك Slack ١٩٩٦).





شكل ٤-٩: (أ) الصفات البصرية، (ب) الوزن النوعي للتورمالين نسبة إلى عدد الأيونات (الحديد الثنائي Fe^{+2} + الحديد الثلاثي Fe^{+3} + المنجنيز Mn) على أساس ٣١ هيدروكسيل OH وفلورين F (دير وأخرون ١٩٨٩).

فى البيئات التى تتميــز بالنــشأة التحواليـــة المتــأخرة Diagenetic and epigenetic، ينمو التورمالين حول نواة التبلور بمعدلات عالية بإتجاه المحور البلورى الموجب "c". يُظهر التورمالين الذى ينشأ فـــى بيئـــات ذات درجـــة تحول منخفضة إلى متوسطة نوع من عدم التماثل فى التركيب بحيث يكـــون هناك إختلاف ملحوظ فى تركيب التورمالين بين طرفي المحـــور البلـــورى الموجب والسالب (هنرى وأخرون ١٩٩٩ .Henry et al). يطلق علـــى هـــذا النوع من عدم التماثل التركيبى اســم القطبيـــة التركيبيـــة Compositional polarity، والذى يعكس بدوره النطاقية الكيميائية بالتورمالين حيث يتميز كل نطاق بتركيب كيميائى مختلف. تتمثل المعادن المـــصاحبة للتورمـــالين فـــي الأباتيت والإسفين والزركون والكوارتز والفلسبار والميكا والبيريل والجارنت والتوباز.

الاستخدامات

يعد التورمالين من المعادن الهامة، ليس فقط لكونه معدن جذاب أو شـــبه حجر كريم، ولكنه يعطى معلومات ذات قيمة عن التاريخ الحرارى وتـــاريخ نشاط المحاليل على الصخور التى نشأ بها. يـــستخدم أيـــضاً فـــى صـــناعة الإلكترونيات لما له من خاصية الكهربائية الحرارية والكهربائية الـــضغطية. هاتين الخاصيتين، علاوه على الثبات الكيميائى العالي ، أدت إلـــى ســـهولة استخدامه كمحول Transducers لقياس الضغط الهيدروستاتيكى وفى أجهـــزة قياس العمق وفى الأجهزة التى تستخدم للتعرف على العوائق تحت الميـــاه. كذلك للتورمالين أهمية فى الدراسات البترولوجية والتمعدنية وذلك لثباته على مدى واسع من الضغط والحرارة.

Beryl البيريل



$Be_3Al_2(Si_6O_{18})$

البيريل عبارة عن مجموعة من المعادن والتى تـــشتمل علـــى الزمـــرد Emerald والأكوامـــــــــارين Aquamarine والهيليـــــــــودور Heliodor

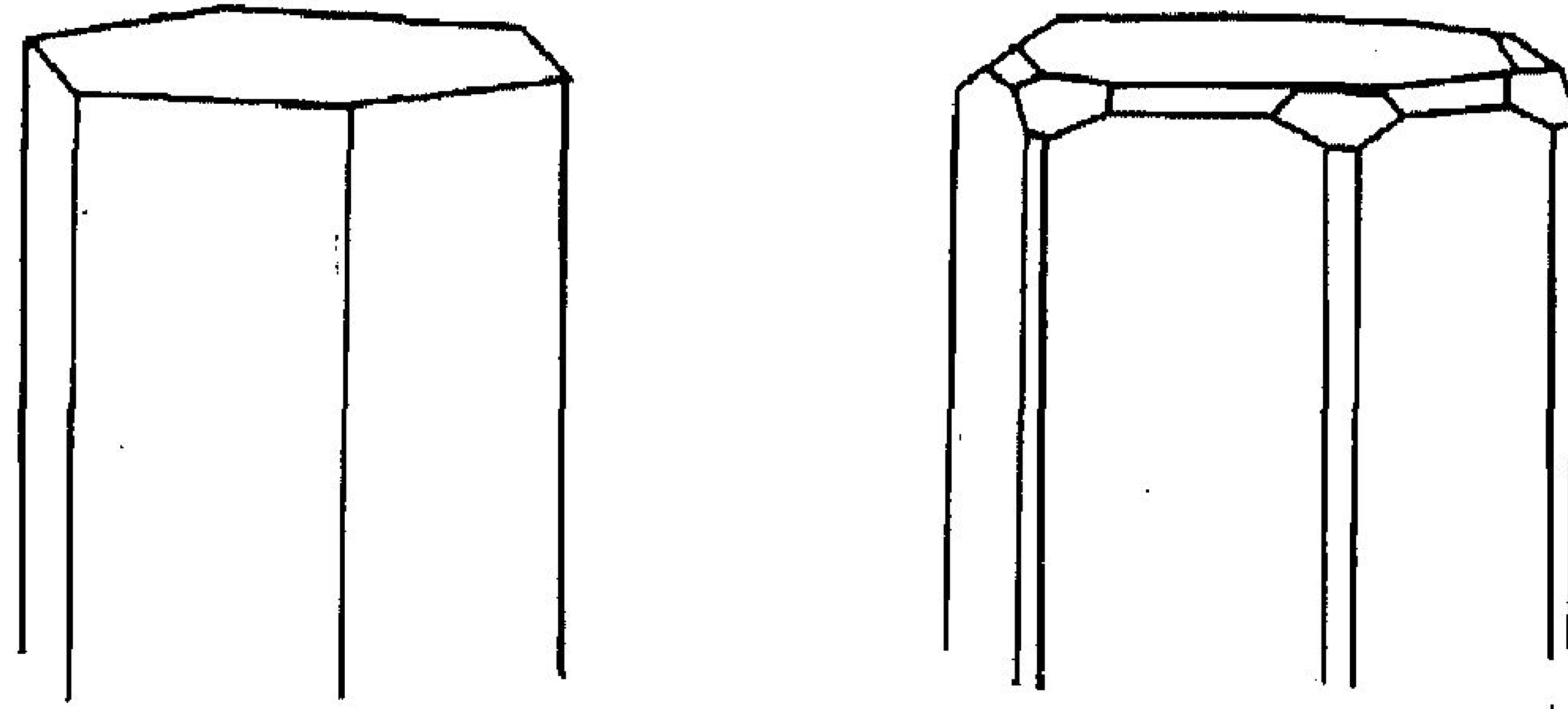
والمورجانيت Morganite والجوشينايت والبيريل الأحمر. تم إشتقاق اسم البيريل من الكلمة الإغريقية *Beryllos* والتى تعنى "حجر كريم أزرق-أخضر". هناك العديد من الألوان لمجموعة معادن البيريل ويعود ذلك بالدرجة الأولى إلى محتواها من العناصر الشحيحة.

البنية البلورية

يتبلور البيريل بفصيلة السداسي حيث أن: أ= ٩,٢٣، ج= ٩,١٩ أنجستروم ومجموع ما تمتلكه خلية الوحدة من ذرات (Z)= ٢؛ مجموعة النقطة 6/m2/m2/m والمجموعة الفراغية *p*6/m2/c2. تتبلور مجموعة معادن البيريل على شكل منشور سداسى منتهى بمسطوح قاعدى Basal pinacoid (شكل ٤-١٠)، غالباً ما يحاط المسطوح القاعدى بالعديد من الأوجه الهرمية المختلفة والتى يمكن أحياناً أن تُظهر نهاية مستديرة. الهيئة البلورية عادةً ماتكون منشورية أو مستطيلة أو مسطحة Flattened، وغالباً ما تُظهر تخطيط Striation وتحزز Grooves، وتظهر بعض البلورات درجات متفاوتة من التأكل Etching.

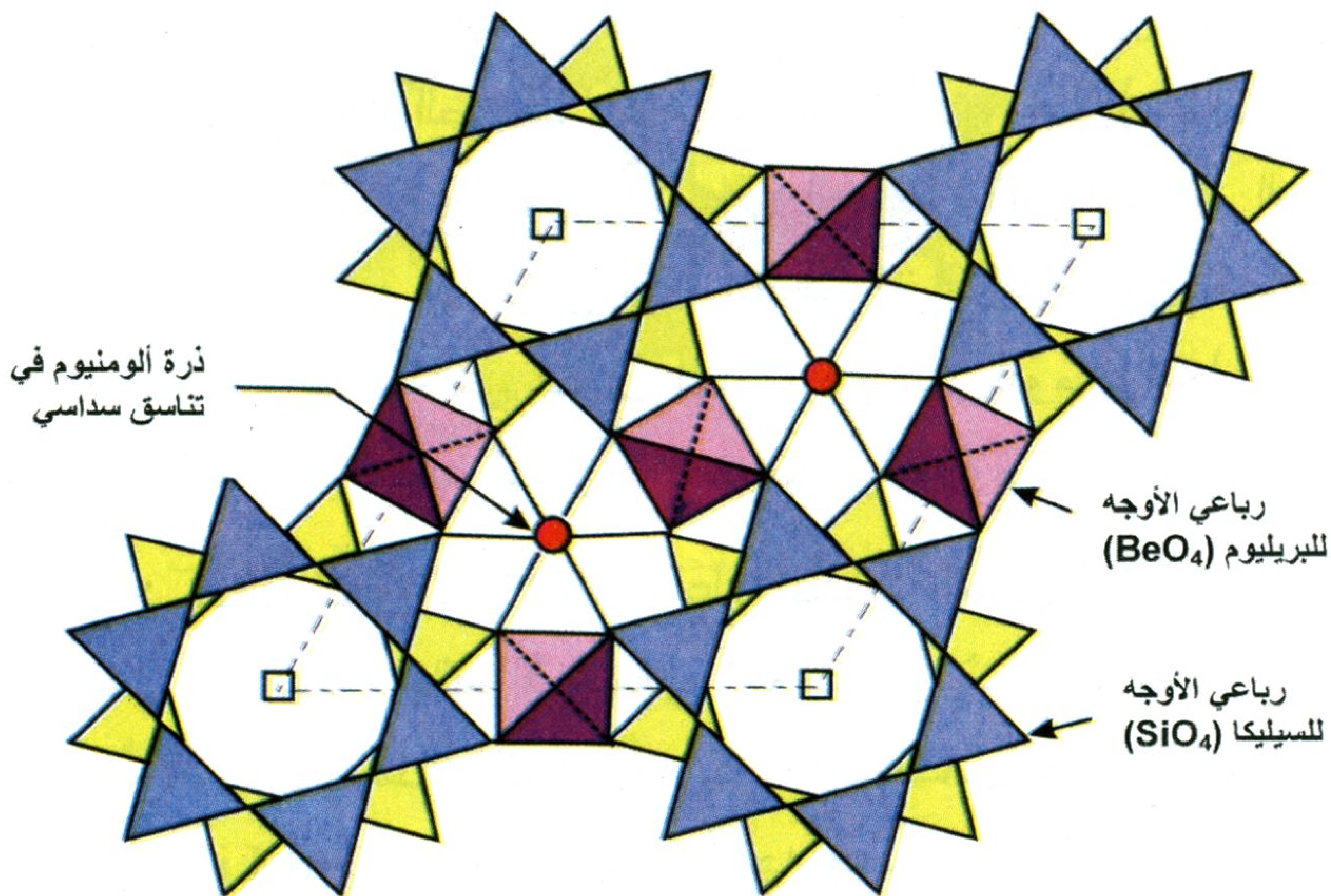
يتكون البيريل من سيليكات البيريليوم والألومنيوم $Be_3Al_2(Si_6O_{18})$ ويتميز بوجود قنوات سداسية خالية والتى يمكن شغلها بالعناصر القلوية مثل الليثيوم Li والصوديوم والروبيديوم أو بجزئيات متعادلة مثل الماء أو ثانى أكسيد الكربون. تنشأ هذه القنوات من خلال الوحدات الحلقية $(Si\text{-}O)_6$ التي تلتصق ببعضها تاركةً فراغات تعمل كممرات للمياه والشوائب الأخرى. من أكثر العناصر تأثيراً على لون البيريل هى شوائب الحديد والتى تتواجد فى مواقع القنوات البينية أو تحل محل الألومنيوم فى المواقع ثمانية الأوجه. وينتج اللون الأصفر فى الهيليودور من وجود أيون الحديد الثلاثى Fe^{3+} بالموقع ثمانى الأوجه والذي يحل محل الألومنيوم. وعلى الجانب الأخر عندما يتواجد الحديد كأيون ثنائى Fe^{2+} بمواقع القنوات البينية فأنه يكسب البيريل اللون الأزرق المخضر (الأكوامارين) ومن العمليات التجارية الشائعة اليوم هى تسخين أنواع البيريل ذات الألوان المتعددة (أصفر أو أخضر) إلى

درجة حرارة تصل إلى ٣٠٠ درجة مئوية مما يؤدى إلى إختزال الحديد الثلاثى Fe^{3+} ويؤدى ذلك إلى تقليل اللون الأصفر والأخضر ويصبح البيريل بلون أزرق نقى. كما يمكن إستعادة اللون الأصفر والأخضر إلى البيريل من خلال تعرضه إلى الأشعة السينية.



شكل ٤-١٠: بعض من الأشكال البلورية المميزة لمعدن البيريل.

يوضح شكل (٤-١١) خلية الوحده للبيريل حيث يتواجد رباعى الأوجه السيليكاتى ذو اللون الأزرق بالطبقة العليا، بينما تتواجد وحدات رباعى



شكل ٤-١١: البنية البلورية لمعدن البيريل.

الأوجه السيليكاتى ذات اللون الأصفر بالطبقة السفلى. تحتوى رباعيات الأوجه ذات اللون الأرجوانى Purple على البيريليوم Be وتقوم بربط الأركان السفلية لرباعيات الأوجه بالحلقة العليا بالأركان العليا لرباعيات الأوجه بالحلقة السفلى. وتمثل الدائرتان ذاتا اللون الأحمر ذرتي الألومنيوم.

تتكون البنية البلورية لمعادن البيريل (شكل ٤-١٢) (عن جيبس وأخرون ١٩٦٨. Gibbs et al وموروسين Morosin١٩٧٢) من عدد ستة وحدات من رباعى الأوجه السيليكاتى متصلة ببعضها على شكل حلقات سداسية (Si_6O_8) في مستوى أفقى عمودى على المحور الرأسي "c". يتم الربط بين هذه الحلقات من خلال وحدات رباعى الأوجه المحتوية على البيريليوم ووحدات ثمانى الأوجه المحتوية على الألومنيوم ليتكون شكل شبكى، حيث أن البيريليوم ذو تناسق رباعى 4-fold tetrahedral coordination والألومنيوم ذو تناسق سداسي 6- fold tetrahedral coordination.

تقوم رباعيات الأوجه بتوصيل حلقات Si_6O_{18} وتستمر في نفس الإتجاه موازية المحور الرأسي "c" تاركةً فراغات تعمل كقنوات (شكل ٤-١٢). ممكن أن تستضيف هذه القنوات العديد من الكاتيونات الكبيرة (مثل كاتيونات الروبيديوم والسيزيوم والصوديوم والبوتاسيوم) وأنيونات (مثل الكلورين والفلورين والهيدروكسيل) والجزيئات مثل الماء H_2O والمواد العضوية. تتواجد الأيونات القلوية عادةً من أجل إحداث إتزان بتعويض النقص فى الشحنات الموجبة الناتجة من إحلال الألومنيوم للبيريليوم بواسطة كاتيونات ذات تكافؤ أقل مثل الحديد الثنائى والمنجنيز والليثيوم ..... الخ.

رغم أن هناك إتفاق بين العلماء على حدوث إحلال للكاتيونات ثنائية التكافؤ محل الألومنيوم بالمواقع ثمانية الأوجه والليثيوم للبريليوم بالمواقع رباعية الأوجه ، فأن هناك إتجاه بأنه يتم أيضاً إحلال بين الألومنيوم والليثيوم بالمواقع ثمانية الأوجه Al-Li substitution (بياس Beus ١٩٦٠ ، إيفانز ومروس Evans and Mrose ١٩٦٨). يعتبر البيريل أحد النماذج الواضحة للدلالة على ظاهرة الإحلال البينى Interstitial substitution حيث وجد

كميات ذات دلالة لأيوني البوتاسيوم K^+ والروبيديوم Rb^+ وجزيئات الماء وثانى أكسيد الكربون فى القنوات الفارغة ببنية البيريل. يعود تواجد هذه الكاتيونات (مثل البوتاسيوم والروبيديوم) إلى الإحلالات المزدوجة من النوع:

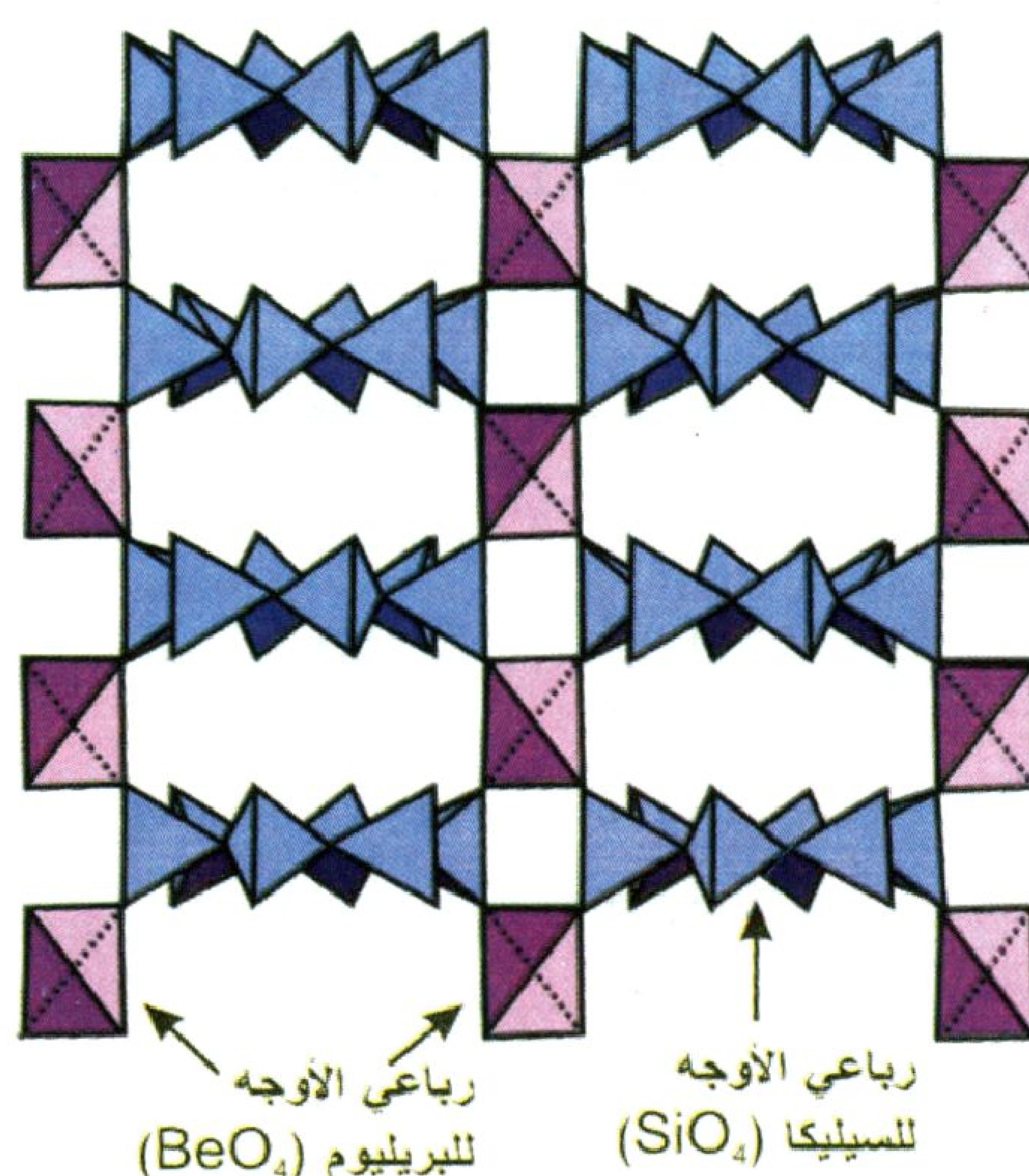


$$Si^{4+}=Be^{2+}+2R^+$$



$$Si^{4+}=Al^{3+}+R^+$$

حيث R تمثل أيونات البوتاسيوم أوالروبيديوم أو السيزيوم. وعلى الجانب الأخر، تسبب مساهمة جزيئات مثل الماء وثانى أكسيد الكربون في وجود ترابط ضعيف ناتج عن رابطة هيدروجينية لشبكة الألومنيوم-السيليكون المحيطة. ويرجع سهولة فقد هذه الجزيئات بمجرد التسخين إلى ضعف روابطها فى البنية البلورية.



شكل ٤-١٢: منظر جانبي للحلقات يوضح كيفية إتصالها بوحدات رباعي الأوجه.

كيميائية المعدن

برغم أن البيريل يبدو من صيغته الكيميائية ($Be_3Al_2Si_6O_{18}$) أنه يحتوى فقط على البيريليوم والألومنيوم والسيليكون، إلا أنه يحتوى أيضاً على

جدول ٤-٤: التحليل الكيميائي للبيريل من مناطق مختلفة.

	١	٢	٣	٤	٥
SiO_2	٦٤,٦٣	٦٤,٧٧	٦٦,١٥	٦٥,١٨	٦٥,٣٤
Al_2O_3	١٤,١٠	١٣,٦٣	١٥,٩٩	١٦,٥٧	١٦,٥١
FeO	٣,٨٣	٢,٢٢	٢,٢٥	٠,٥٠	٠,٣١
MnO	--	--	٠,٦٤	--	--
MgO	١,٢٧	٢,٦٠	٠,١٧	١,١٥	٠,٨٧
Cr_2O_3	--	٠,٩٨	--	٠,٢٦	٠,٣٧
V_2O_5	--	--	--	--	٠,٦٤
TiO_2	--	--	٠,٥٥	--	--
Na_2O	٣,٢٥	١,٩٠	٠,٣٠	١,١٥	٠,٤٩
K_2O	--	--	٠,٢٢	--	--
Cs_2O_5	--	--	٠,٣٣	--	--
Rb_2O	--	--	٠,١٠	--	--
LiO_2	٠,٠٧	٠,٠٣	٠,٠٣	٠,١٠	--
BeO	١٣,٠٢	١٢,٩٦	١٣,٤٠	١٣,٢٧	١٣,٣٧
L.O.I	غير مقاس	٢,٢٠	٠,٠٠	٢,٣٠	٢,٤٠
المجموع	١٠٠,١٧	١٠٠,٢٩	١٠٠,١٣	١٠٠,٤٨	١٠٠,٣
			كاتيونات=١٨ ذرة أكسجين		
Si	٦,٠٠	٦,٠٠	٦,٠٠	٦,٠٠	٦,٠٠
Al	١,٥٣	١,٤٧	١,٧٢	١,٧٨	١,٧٣
Fe^{3+}	--	--	٠,٠٣	--	--
Fe^{2+}	٠,٣٠	٠,٠١	٠,١٤	٠,٠٤	٠,٠٢
Mn	--	--	٠,٠٥	--	--
Mg	٠,١٨	٠,٣٦	٠,٠٢	٠,٢	٠,١٢
Cr	--	٠,٠٧	--	٠,٠٢	٠,٠٣
V	--	--	--	--	٠,٠٥
Ti	--	--	٠,٠٤	--	--
Be	٢,٨٦	٢,٩١	٢,٩٠	٢,٩٤	٢,٩٦
Li	٠,٠٣	٠,٠١	٠,٠١	٠,٠٤	--
Si	٠,٠٣	٠,٠٥	٠,٠٥	٠,٠١	٠,٠٣
Al	٠,٠٠٣	٠,٠٣	٠,٠٠٤	٠,٠٢	٠,٠١
Na	٠,٤١	٠,٣٤	٠,٠٥	٠,٢١	٠,٠٩
K	--	--	٠,٠٣	--	--
Cs	٠,٠١	--	٠,٠١	--	--
Rb	--	--	٠,٠٠٣	--	--

تابع جدول ٤-٤: التحليل الكيميائي للبيريل من مناطق مختلفة.

	٦	٧	٨	٩	١٠
SiO_2	٦٥,٦٦	٦٥,٥٩	٦٤,١٦	٦٣,٢٩	٦٣,٦٠
Al_2O_3	١٧,٩٠	١٨,٢٥	١٨,٠٦	١٧,٧٦	١٤,٥٤
FeO	١,٢٦	١,١٦	--	--	٠,٣٨
MnO	--	--	--	--	--
MgO	--	--	--	--	٢,٢٧
Cr_2O_3	--	--	--	--	٠,٣٥
TiO_2	--	--	--	--	--
Na_2O	--	٠,٢٦	١,٥٧	١,٢٣	١,٧٢
K_2O	--	--	--	--	--
Cs_2O_5	--	--	٢,١٠	٣,٧٩	--
Rb_2O	--	--	٠,٠٢	٠,٠٥	--
LiO_2	٠,٠٢	--	١,١٩	١,٣٠	٠,٠٤
BeO	١٣,٦١	١٣,٤٦	١١,١٢	١٠,٧٩	١٣,٠١
L.O.I	١,١٠	٠,٧٠	١,٣٠	١,١٠	٢,٦٠
المجموع	٩٩,٥٥	٩٩,٤٢	٩٩,٥٢	٩٩,٣١	٩٨,٥١
			كاتيونات=١٨ ذرة أكسجين		
Si	٥,٩٩	٦,٠٠	٦,٠٠	٦,٠٠	٦,٠٠
Al	٠,٠١	٠,٠٠٤	--	--	--
Al	١,٩٠	١,٩١	٢,٠٠	٢,٠٠	١,٦٢
Fe^{3+}	٠,٠١	٠,٠٠٢	--	--	--
Fe^{2+}	--	٠,٠٩	--	--	٠,٠٣
Mn	--	--	--	--	--
Mg	--	--	--	--	٠,٣٢
Cr	--	--	--	--	٠,٠٣
Ti	--	--	--	--	--
Be	٢,٩٨	٢,٩٠	٢,٥١	٢,٤٧	٢,٩٦
Li	١,٠١	--	٠,٤٥	٠,٥٠	٠,٠٢
Si	--	--	٠,٠٤	٠,٠٤	٠,٠٣
Al	٠,٠١	٠,٠٥	٠,٠٠٢	--	--
Na	--	٠,٠٥	٠,٢٩	٠,٢٣	٠,٣٢
K	--	--	--	--	--
Cs	--	--	٠,٠٨	٠,١٥	--
Rb	--	--	٠,٠٠١	٠,٠٠٢	--

١= بيريل أزرق غامق بصخور متحولة بسحنة الشيست الأخضر من منجم كالكافيرو، إيطاليا (Calcaferro Mine, Italy) (أوريسيشيو وأخرون ١٩٨٨ Aurisicchio et al.).

٢= بيريل أخضر غامق بصخور التلك شيست والدولوميت بمنطقة سويت فاللي، باكستان (Sweet Valley, Pakistan) (جوبيلين ١٩٨٢ Gubelin).

٣= بيريل ذو نطاقية وردية إلى حمراء من الحافة إلى اللب بجبال واه واه، يوتا، أمريكا (Wah Wah Mountains, Utah, U.S.A.) (شيجلي وفورد ١٩٨٥ Shigley and Foord).

٤= بيريل أخضر بصخور البيوتيت شيست بمنطقة باهيا، البرازيل (Bahia, Brazil) (زاور ١٩٨٢ Sauer,).

٥= بيريل أخضر غامق بعروق من الكالسيت-الدولوميت بمنطقة موزو، كولومبيا (Muzo, Colombia) (كيلير ١٩٨١ Keller).

٦= بيريل أخضر شاحب بصخور البيجماتيت بمنطقة جوز، نيجيريا (Jos, Nigeria) (ليند وأخرون ١٩٨٤ Lind et al.).

٧= بيريل أزرق فاتح بجبال الأورال، الإتحاد السوفيتي سابقاً (Ural Mountains, USSR) (سينكانكاس ١٩٨١ Sinkankas).

٨= بيريل عديم اللون بصخور البيجماتيت بمنجم ساليناس، البرازيل (Salinas mine, Brazil) (بروكتور ١٩٨٤ Proctor).

٩= بيريل وردي اللون بصخور البيجماتيت بمنجم ماواي، أفغانستان (Mawi mine, Afghanistan) (عن بارياند وبولين ١٩٧٨ Bariand and Poullin).

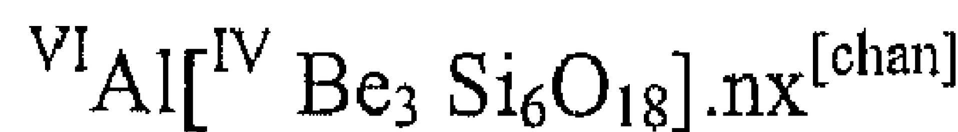
١٠= بيريل أخضر اللون بصخور التلك-بيوتيت-أكتينوليت شيست بسالزبورج، النمسا (Salzburg, Austria) (فرانز وأخرون ١٩٨٦ Franz et al.).

مجموعة القلويات التى قد تصل فى بعض الأنواع من البيريل إلى حوالى ٥ إلى ٦ % (دير وأخرون ١٩٨٩). تتمثل هذه القلويات بشكل أساسى فى الليثيوم والسيزيوم والتانتالم والصوديوم (جدول ٤-٤)، كما يمكن وجود أيضاً البوتاسيوم والروبيديوم ولكن أقل شيوعاً. يحل الليثيوم محل الألومنيوم فى الأنواع الغنية بالليثيوم بالمواقع ثمانية الأوجه، وعلى الجانب الأخر فإن الألومنيوم يحل محل البيريليوم فى بعض المواقع رباعية الأوجه. من الممكن تخليق البيريل معملياً من خليط مكون من ثانى أكسيد السيليكون SiO_2، أكسيد الألومنيوم Al_2O_3 وكربونات البيريليوم $BeCO_3$ عند درجات حرارة تتراوح بين ٤٠٠ إلى ٨٥٠ درجة مئوية وقيمة ضغط تتراوح بين ٤٠٠ و ٢٠٠٠ بار. حيث تم تخليق الزمرد فى محاليل قلوية تحتوى على أكسيد البيريليوم وأكسيد الألومنيوم وأكسيد السيليكون مع وجود قليل من أكسيد الكروميوم. فى حالة ما يكون هناك نقص فى أكسيد الألومنيوم فأنه من الممكن تواجد

مكتنفات من الفيناكيت ($Phenakite\ Be_2SiO_4$). ومن المعلوم أن الزمن اللازم لتخليق بلورة زمرد كبيرة الحجم (تصل إلى ١ قيراط) هو حوالي سنة واحدة.

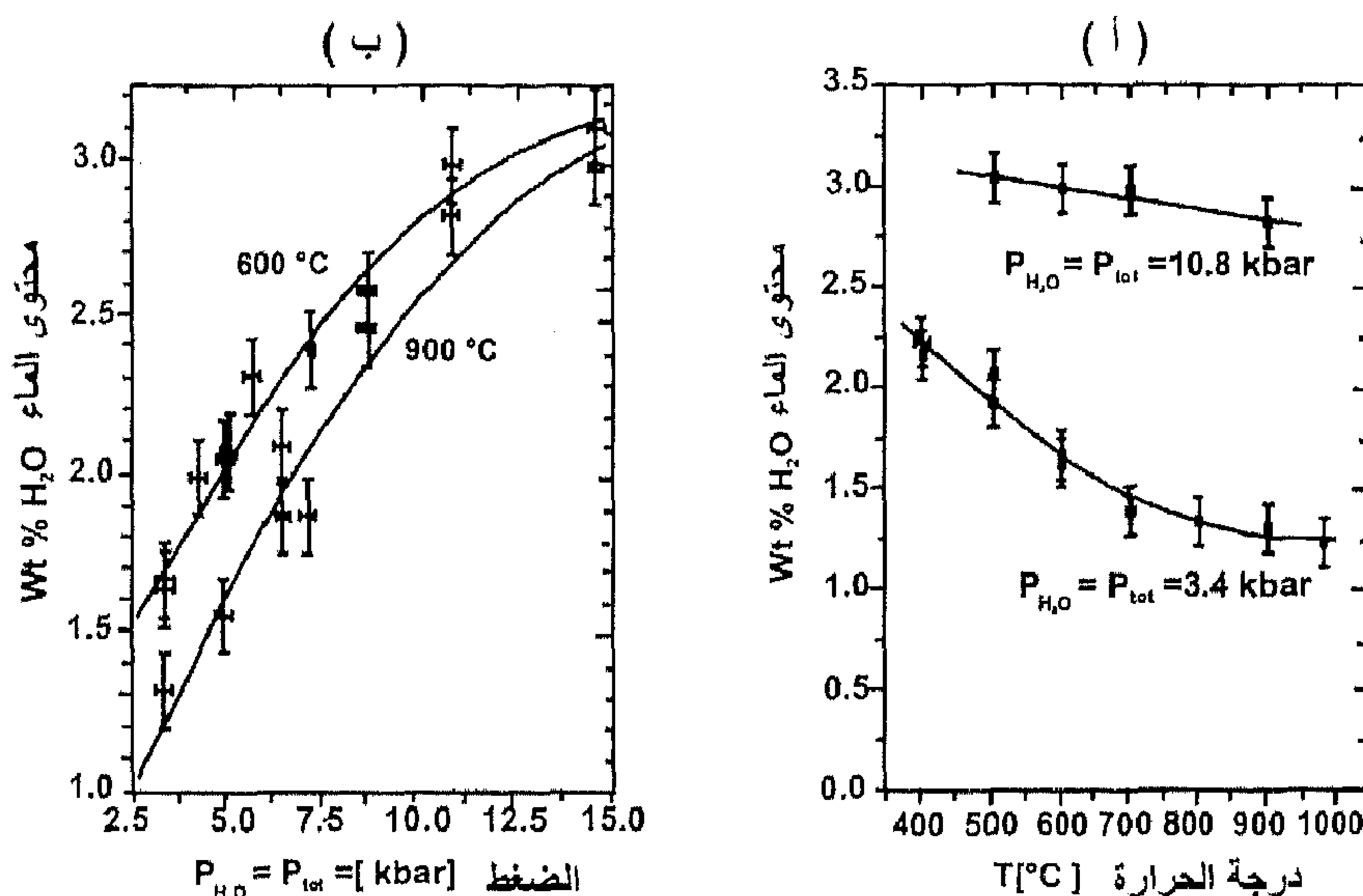
تشمل نواتج التجوية للبيريل كل من الكاولينيت والمسكوفيت والبافينيت والبيرتراندايت والفيناكيت والإبيديميت والميلاريت Kaolinite, Muscovite, Bavenite, Bertrandite, Phenakite, Epidymite and Milarite. (دير وأخرون ١٩٨٩).

بناءً على ما سبق فإنه من الممكن إعادة كتابة الصيغة الكيميائية لمعادن البيريل على النحو التالي:



$$^{VI}Al[^{IV}Be_3\ Si_6O_{18}].nx^{[chan]}$$

حيث أن X تمثل المحتوى الجزيئي و/أو الأيوني بمواقع القنوات [chan] بالشبكة البنائية للبيريل. تتكون هذه القنوات من إتصال داخلي للفجوات ذات نصف قطر يصل إلى ٥,١٥ أنجستروم بين الحلقات عند Z=¼، بينما عند المستوى الأفقي المعاكس للحلقات يقل نصف القطر إلى ٢,٤٩ أنجستروم. تحتوي هذه الفجوات والفراغات على جزيئات $(X_{Mol})^{[chan]}$ مثل الماء أو ثاني أكسيد الكربون (وود وناساو ١٩٦٧، ١٩٦٨ Wood and Nassau) أو أيونات $(X_{Mn}{}^{+[chan]})$ مثل الأيونات القلوية. عندما تصل قيمة nH_2O إلى ١,٠٠ فأنه من الممكن تواجد جزئ ماء واحد بأحد الفجوات بالبنية البلورية للبيريل (بنكرس ولانجر ٢٠٠٢ Pankrth and Langer). يظهر شكل (٤-١٣أ،ب) مدى إعتماد المحتوى المائي بالبيريل النقي ($Al_2(Be_3Si_6O_{18})$) على الحرارة والضغط (بنكراس ولانجر٢٠٠٢). يتضح من الشكل (٤-١٣أ) أن محتوى الماء بالبيريل يقل مع زيادة درجة الحرارة وعلى عكس ذلك تزداد نسبة محتوى الماء بالبيريل مع زيادة الضغط (٤-١٣ب).



شكل ٤-١٣: مخطط يبين مدى إعتماد محتوى الماء بالبيريل على: (أ) درجة الحرارة عند ضغط يساوي ٣,٤ و ١٠,٨ كيلوبار ، (ب) الضغط عند درجات حرارة ٦٠٠ و ٩٠٠ درجة مئوية (بنكراس ولانجر ٢٠٠٢ Pankrath and Langer).

الصفات الفيزيائية والبصرية

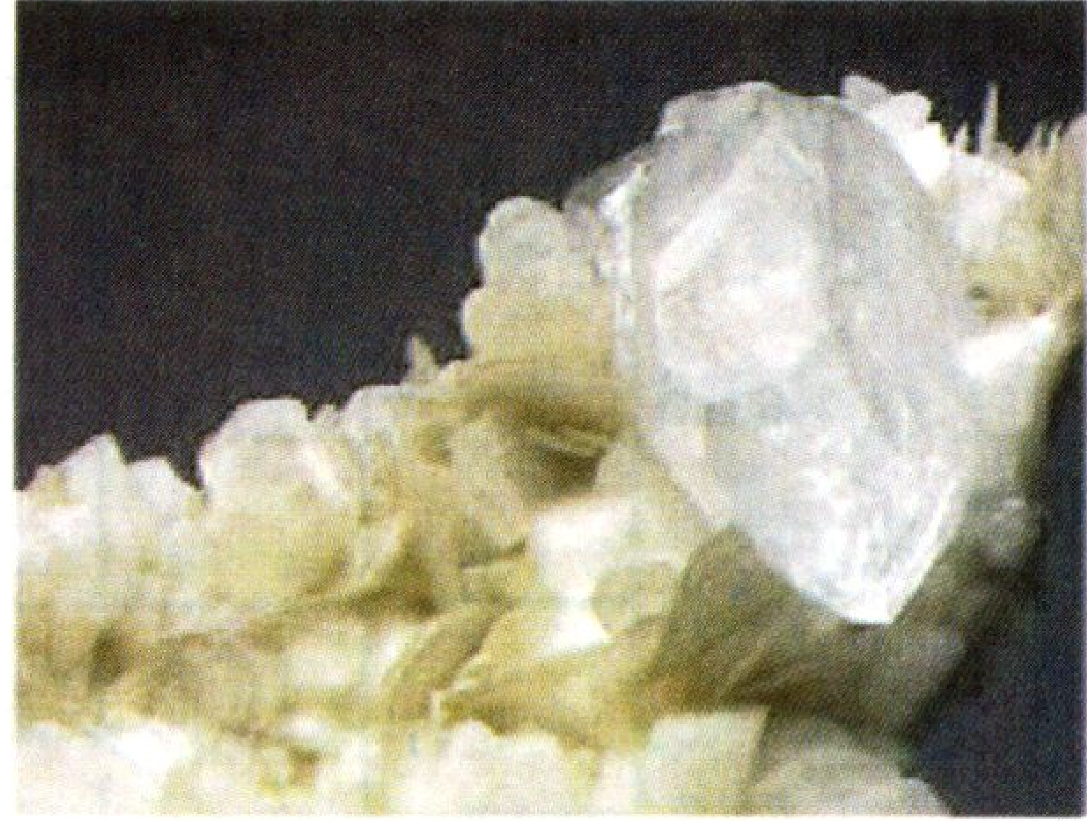
عادةً مايكون لون البيريل أبيض فى الحاله النقيه، ولكن يعود التعدد اللوني الذي نراه بالبيريل إلى وجود العديد من الشوائب Impurities أو العناصر الشحيحة. أكسب التعدد اللوني للبيريل ميزة استخدامه كحجر كريم، ويعد كل من الأكوامارين (لون أزرق إلى لون مخضر) والزمرد (أخضر اللون) من أشهر أنواع البيريل، وهناك أنواع أخرى ذات ألوان مختلفة (شكل ٤-١٤)، منها:

- النوع الأصفر المخضر والذى يسمى هيليودور Heliodor
- النوع الوردى والذى يسمى مورجانيت Horganite
- النوع عديم اللون والذى يسمى جوشينايت Goshenite
- النوع ذو اللون الأحمر Red beryl والذهبى Golden beryl

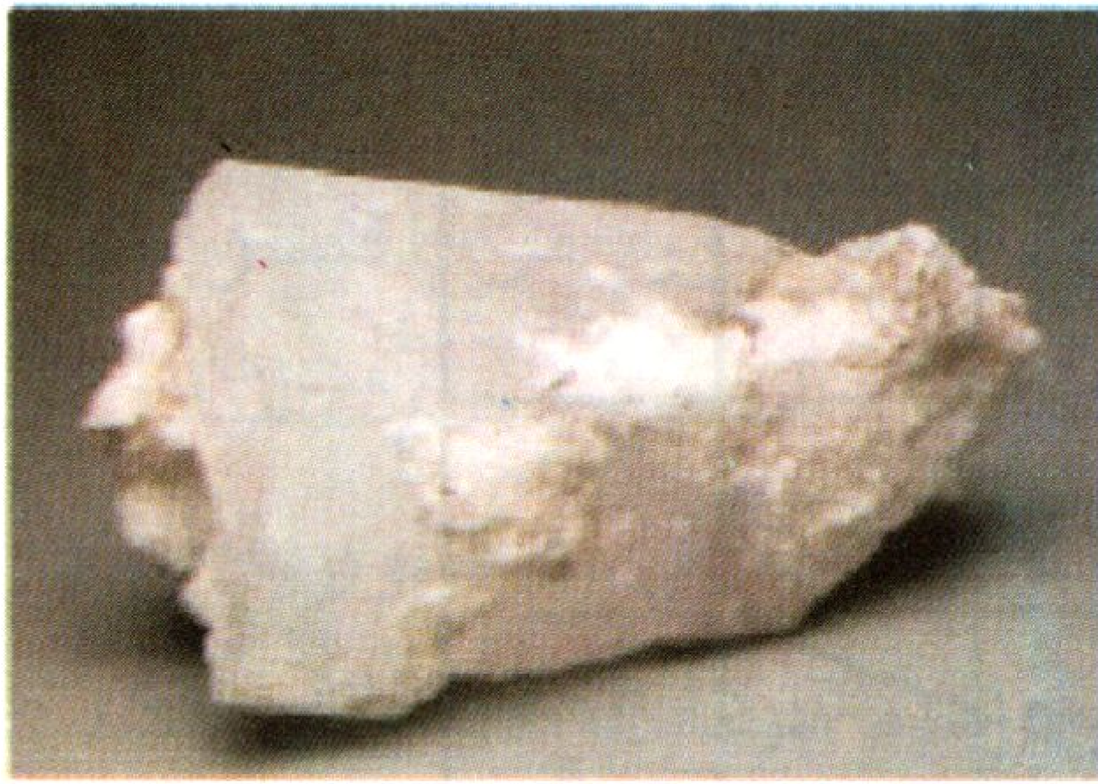
البريق زجاجي وتظهر بعض البلورات بريق كعين الهر فى الظلام Catoyancy. المخدش أبيض اللون وتتراوح الشفافية في معادن البيريل بين

شفاف إلى نصف شفاف. الصلادة=٧,٥-٨,٠ والمكسر محارى إلـى غيـر مستوي. يتراوح الوزن النوعي مابين ٢,٦ -٢,٩.

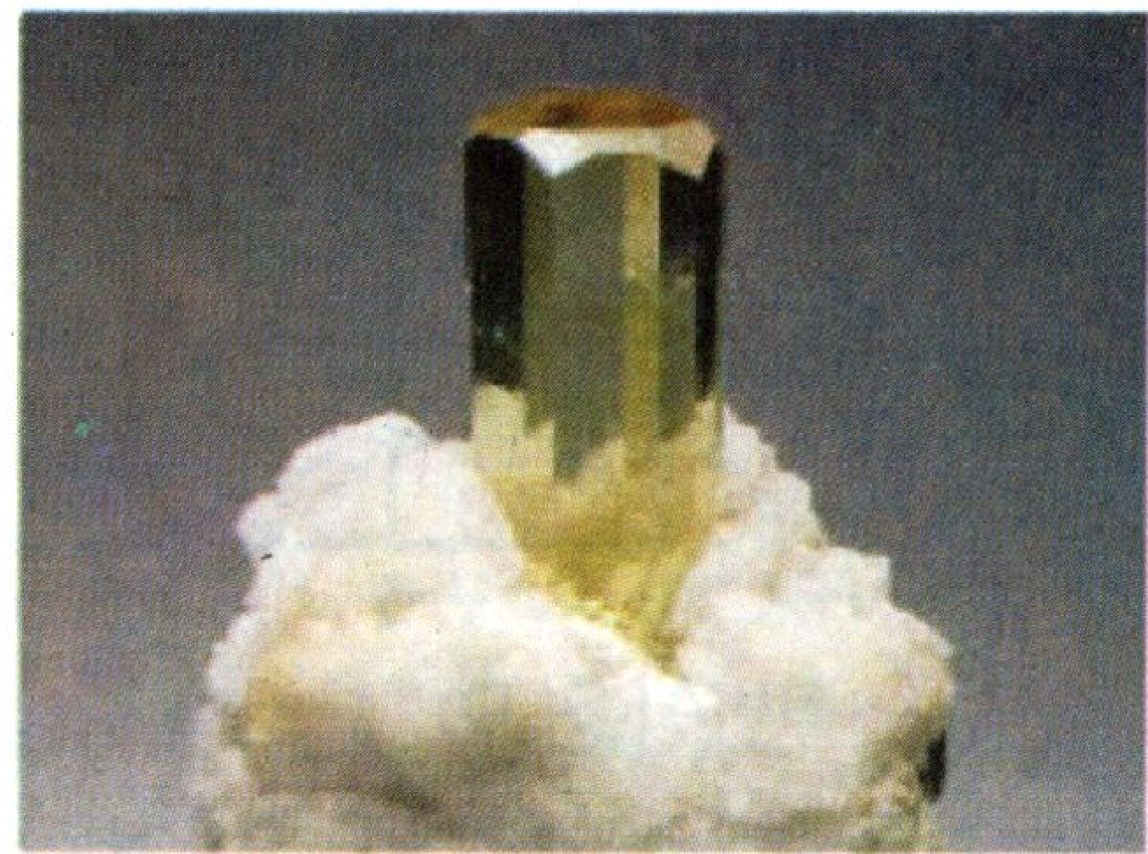
(أ)



(ب)



(ج)



(د)



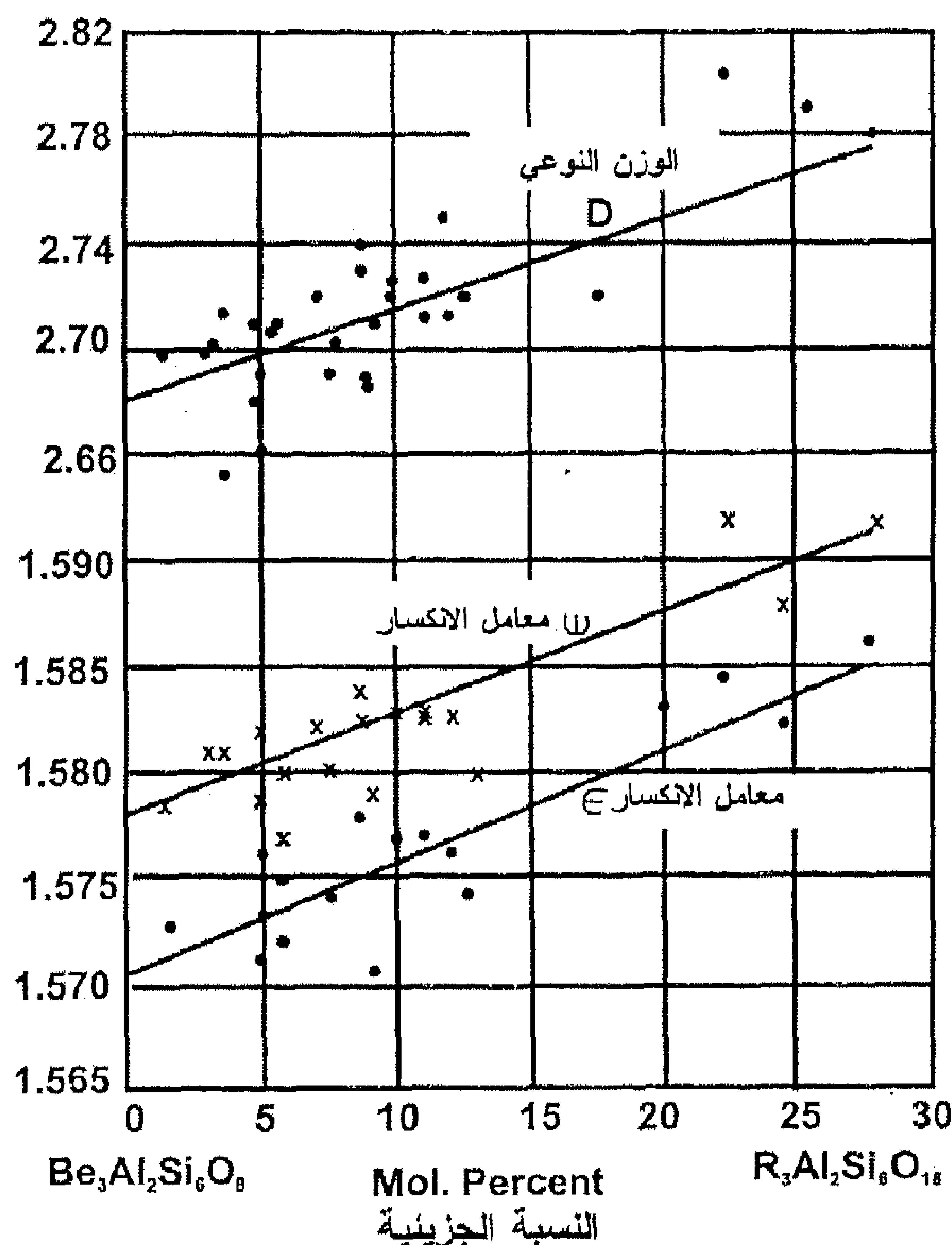
(هـ)



(و)



شكل ٤-١٤: أنواع مختلفة من البيريل. (أ) جوشينيت عديم اللون، (ب) بيريل نقـي أبـيض اللـون ، (ج) هوليدور أصفر اللون، (د) زمرد أخضر اللون، (هـ) بيريل أخضر اللون، (و) بيريل أحمر اللون.



شكل ٤-١٥: مخطط يبين تغير معاملي الانكسار والوزن النوعي بالبيريل مع تغير النسبة الجزيئية للمحتوى القلوي (دير وأخرون ١٩٨٩). R= صوديوم أو روبيديوم أو سيزيوم.

كما هو واضح بشكل رقم (٤-١٥)، يعتبر المحتوى القلوى هو العامل الأساسي الذى يتحكم فى صفات البيريل (دير وأخرون ١٩٨٩) حيث تصاحب زيادة المحتوى القلوى زيادة فى كل من معاملي الانكسار Refractive indices والوزن النوعي. البيريل معدن أحادي المحور سالب (-) Uniaxial، حيث معاملات الانكسار: (ω) = ١,٥٦٠-١,٦٠٢ و (ϵ) = ١,٥٥٧-١,٥٩٩ وقرينة الانكسار المزدوج (δ) = ٠,٠٠٤ - ٠,٠٠٨.

يعد الزمرد من أغلى أنواع البيريل حيث يتميز باللون الأخضر الذى يعود إلى عملية إحلال لبعض العناصر الشحيحة مثل الكروميوم والفانديوم

للألومنيوم. يتميز الزمرد بوجود العديد من الشوائب والمكتنفات (فقاعات غازية أو معادن أخرى). يوجد الزمرد على شكل بلورات كبيرة وقد تم إكتشاف أكبر بلورة فى كارنيبا Carnaiba بالبرازيل عام ١٩٧٤ ويصل وزنها إلى ٨٦,١٣٦ قيراط. من ناحية أخرى يعتبر الأكوامارين من أحد أنواع الأحجار الكريمة ولكنه لايصل إلى قيمة الزمرد. يتميز الأكوامارين باللون الأزرق أو اللون الأزرق المخضر. يتراوح اللون من أخضر شاحب إلى أزرق شاحب إلى أزرق إعتماداً على التركيز النسبى للحديد الثنائى Fe^{2+} والحديد الثلاثى Fe^{3+} وأيضاً على موقع شوائب الحديد بالبنية البلورية للمعدن. تعد البرازيل من أكثر الدول إنتاجاً للأكوامارين ثم يليها الولايات المتحدة الأمريكية. الهيليودور هو أحد أنواع البيريل ذو اللون الأصفر ويطلق عليه أيضاً اسم "أم الأحجار الكريمه "Mother of gem stones". يتواجد الهيليودور بمدغشقر والبرازيل والولايات المتحده الأمريكية ودول الشرق الأوسط وروسيا.

يسمى البيريل ذو اللون الوردى باسم المورجانيت. ويعود هذا اللون إلى وجود المنجنيز الذى يتخلل البنية البلورية له. وقد أُشتق اسم هذا النوع من البيريل من اسم أحد رجال الصناعة المشهورين بالولايات المتحده الأمريكية والملقب باسم مورجان J.P.Morgan. ويعتبر الجوشينيت أحد أنواع البيريل عديم اللون. وحيث أن الألوان التى تظهرها الأنواع الأخرى من البيريل تعود إلى ما تحتويه من العناصر الشحيحة، فأن الجوشينيت يعد من أنقى أنواع البيريل ويرجع ذلك إلى إنخفاض محتواه من هذه العناصر. أما البيريل الأحمر فهو من أندر أنواع البيريل والذى تم التعرف عليه عام ١٩٠٥ بولاية يوتا Utah على هيئة بلورات صغيرة نصف شفافة بصخر الريوليت. ولاتعتبر نوعاً جيداً من الأحجار الكريمة. ومع نهاية الخمسينات، تم العثور على نوعيات أفضل بأحجام كبيرة بجبال واه واه Wah Wah Mountains بمنطقة بيفر Beaver County. تبلغ أكبر بلورة من البيريل الأحمر ١٤ ميلليميتر x ٣٤ ميلليميتر وتزن حوالى ٥٤ قيراط.

التواجدات والصحبة المعدنية

رغم النسبة المنخفضة لتواجد البيريليوم بالأرض (٢,٨ جزء فى المليون، تيلور ١٩٦٤ Taylor)، فأنه ينتشر فى حوالى ٩٠ معدن كمكون أساسى (فلايشر وماندارينو ١٩٩٥ Fleischer and Mandarino). يعتبر البيريل أكثر هذه المعادن أهمية. يتواجد البيريل بشكل اساسي فى البيجماتيت الجرانيتى، ولكنه يوجد أيضاً بالرايوليت التوبازى مصاحباً لرواسب المحاليل الحرمائية (مثل العروق والجريزن Greisens)، كما يوجد أيضاً ببعض الصخور المتحولة مثل النيس والشيست، ولكنه أقل شيوعاً بالصخور الجرانيتية. يطلق على صخور البيجماتيت الجرانيتى الغنى بالبيريل عائلة LCT أى الغنية بالليثيوم Li والسيزيوم Cs والتانتالم Ta (كيرنى١٩٩١أ Cerny). غالباً مايكون البيجماتيت من هذا النوع ليكوقراطي (أي أبيض اللون) ومشبع بالبوتاسيوم والألومنيوم Peraluminous والذى ينتج غالباً من عملية خلط لصهير جرانيتى من أصل نارى وأخر من أصل رسوبى. يتكون البيريل الأحمر في الكسور والفجوات بصخر الريوليت بفعل الغازات عالية الحرارة والتى تتصاعد فى المراحل المتأخرة من تبلور وتبريد الصهير الريوليتى.

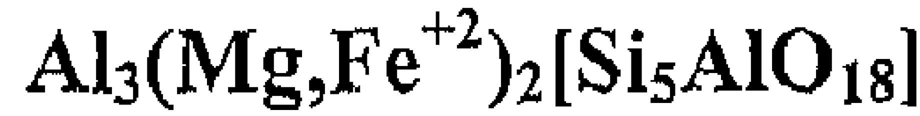
هناك ثلاث عوامل أساسية تتحكم فى عملية تكّون البيريل بالبيجماتيت (إيفانسين وأخرون ١٩٩٩ Evensen et al.)، وهي :الحرارة ونشاط الألومنيوم والسيليكا وإضافة مكونات تساعد على عملية الصهر Fluxing. قد يتواجد البيريل كبلورات كاملة الأوجه فى "جيوب" أو كبلورات كاملة الأوجه إلى عديمة الأوجه مصاحبة لمعادن أخرى مثل الكوارتز والفلسبار البوتاسى والألبيت والمسكوفيت والعديد من المعادن الإضافية. ويتواجد البيريل أيضاً برواسب الأودية ويرجع ذلك إلى صلادته وكثافته العالية. تعد البرازيل المصدر الرئيسى للأكوامارين حيث تم إستخراج بلورة تصل إلى ١٠٠-١٥٠ كجم. كما تم التعرف على بلورات كبيرة للأكوامارين والمورجانيت فى مدغشقر. كما يتواجد البيريل أيضاً بأوروبا (النمسا والمانيا وإيرلاندا). يوجد المورجانيت بمدغشقر والبرازيل والولايات المتحده الأمريكية. يوجد البيريل

في المملكة العربية السعودية بصخور البيجماتيت بمنطقة جبل طربان حيث تتراوح أطوال بلوراته من ٢ إلى ٤ سم وفي مصر بصخور النيس بمنطقة وادي سيكيت بالصحراء الشرقية.

الاستخدامات

من الناحية التاريخية، كان البعض يستخدم الأكوامارين والزمرد كتعويذة تحميهم أثناء وجودهم بالبحر وتمحى الحقد والكراهية من النفس البشرية ويعم السلام والصفاء. كما إستخدمه البعض كتعويذة تعطيه الشجاعة وتساعده على الثقة بالنفس. كما أعتقد القدماء بأن الأكوامارين يساعد على قلة الإعتماد على الدواء ويساعد على الهضم وعلاج الغدد المتضخمة ويحافظ على صحة الفك والأسنان. فى العصر الراهن، بالإضافه لكونه حجر كريم، يعد البيريل الخام الرئيسى للبيريليوم والذى يستخدم فى الصناعات النووية والإضاءة والسبائك القوية التى تستخدم فى صناعة الطائرات. كما تستخدم أملاح البيريليوم فى اللمبات المتفلرة وأنابيب الأشعة السينية.

الكورديريت Corderite



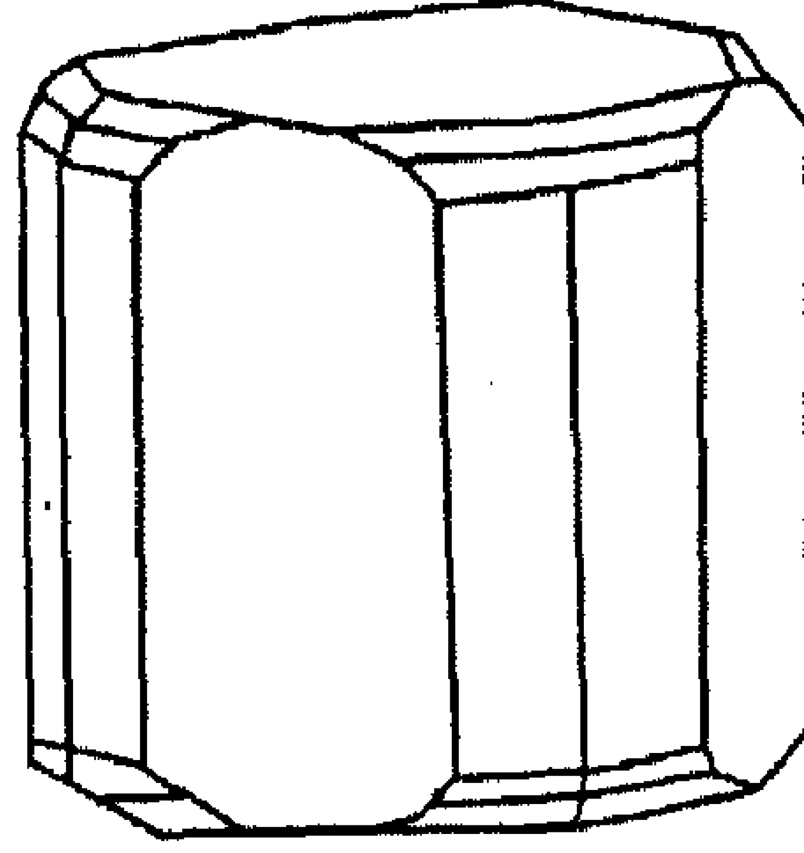
$Al_3(Mg,Fe^{+2})_2[Si_5AlO_{18}]$

يعود هذا الاسم إلى عالم المعادن الفرنسى *P.L.A.Cordier* (١٧٧٧-١٨٦١) حيث أنه أول من وصف هذا المعدن. رغم أن المعدن لا يعد من الأحجار الكريمة مقارنةً بالبيريل والتورمالين، إلا أن هناك أنواع منه يمكن اعتبارها حجر كريم، مثل الأيولايت Iolite. وهذا المعدن معروف بجاذبيته والتى ترجع إلى اللون الأزرق والبنفسجى مما حدا ببعض العلماء إلى تسميته سافير الماء Water sapphire. تعد كل من سريلانكا والهند ومدغشقر وبورما من أكثر الدول المنتجه لمعدن الأيوليت.

البنية البلورية

يتبلور المعدن فى فصيلة المعينى القائم أو السداسي الكاذب Pseudohexagonal، حيث: أ= ١٧,١٣، ب= ٩,٨، ج= ٩,٣٥ أنجستروم.

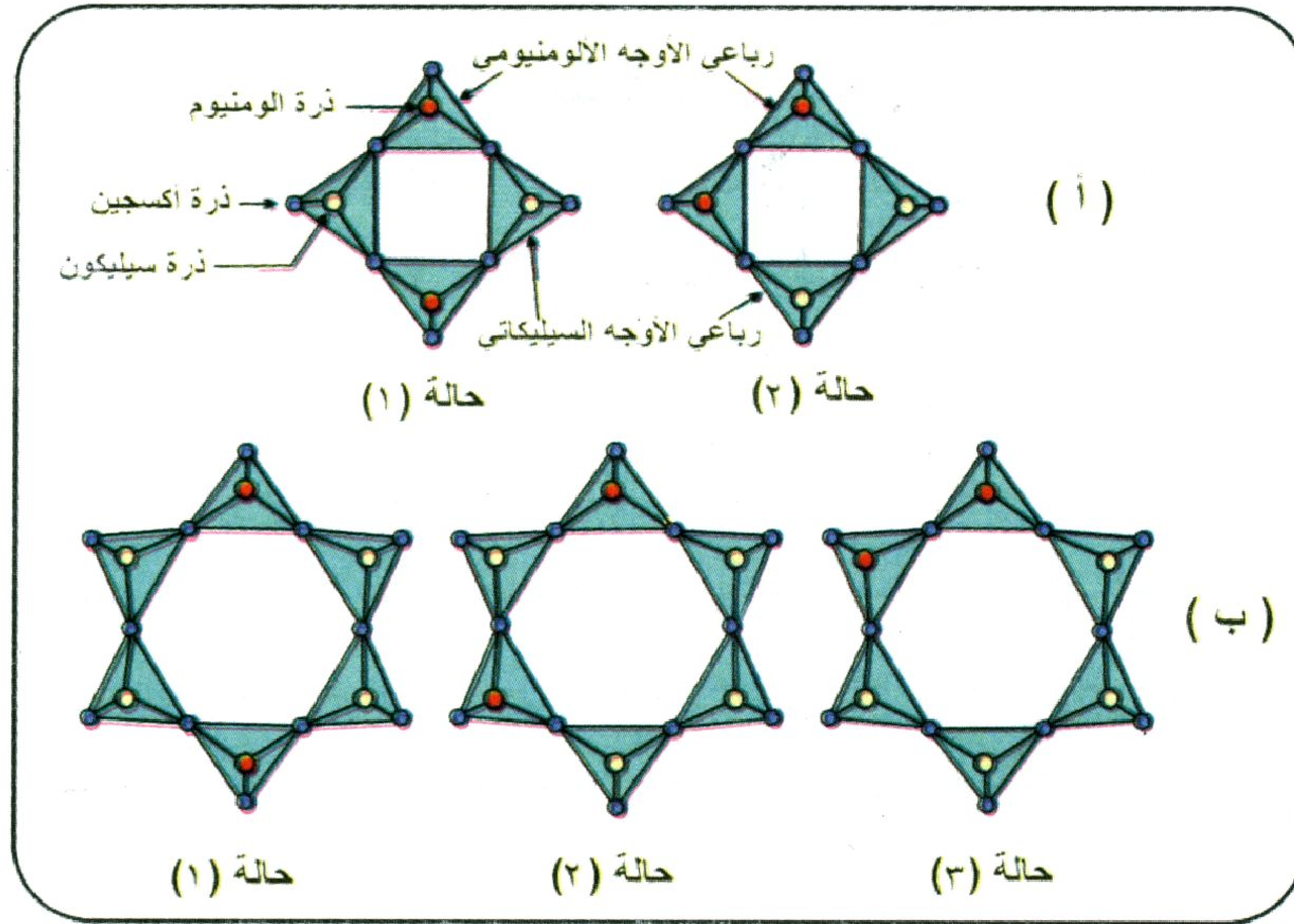
مجموع الذرات بخلية الوحدة (Z)= ٤ ومجموعة النقطة 2/m2/m2/m والمجموعة الفراغية *C2/C2/C2/m*. عادةً ماتكون البلورات على شكل منشورى قصير (شكل ٤-١٦) أوشكل حبيبى أو كتلى.



شكل ٤-١٦: الشكل البلوري المميز لمعدن الكورديريت.

يتشابه الكورديريت مع البيريل فى أنه يتكون من حلقات ذات ستة وحدات من رباعى الأوجه حسب الصيغة Si_6O_{18} مما جعل تصنيفه يتبع السيليكات الحلقية. يُصنف أغلبية العلماء الكورديريت كمعدن تابع لمجموعة السيليكات الحلقية إعتماداً على محتواه الكاتيونى بموقع ثمانى الأوجه والذى لا يؤهله لأن ينضم إلى مجاميع المعادن المنتمية إلى السيليكات الشبكية أو Tectosilicate مثل الفلسبار.

من الممكن رؤية البنية البلورية للكورديريت على أنها سلسلة من حلقات ذات أربع وحدات من رباعي الأوجه الألومنيومي AlO_4 والسيليكاتي SiO_4 المتبادلة (تماثلD_{4h}) أو حلقات ذات ستة وحدات من رباعيات الأوجه للتركيب $Al_2Si_4O_{18}$ (تماثلD_{6h}) (شكل٤-١٧) (عن جيبس ١٩٦٦ Gibbs؛ كوهين وأخرون Cohen et al.١٩٧٧). تمثل بنيات الكورديريت المتمثلة في الحالتين أ١ وب١ (شكل ٤-١٧) أكثر حالات الكورديريت إستقراراً يليها كل من الحالتين أ٢ وب٢ وتعتبر البنية المتمثلة في الحالة ب٣ هي الأقل إستقراراً (كوهين وأخرون ١٩٧٧).



شكل ٤-١٧: أشكال توضيحية للترتيب الممكن لحلقات رباعي الأوجه السيليكاتي SiO_4 والألومنيومي AlO_4 في الكورديريت: (أ) حلقات من أربع أعضاء ذات تركيب $Al_2Si_2O_{12}$ (تماثل D_{4h})، (ب) حلقات من ستة أعضاء وذات تركيب $Al_2Si_4O_{18}$ (تماثل D_{6h}).

يمكن تمييز نوعين من وحدات رباعي الأوجه بالبنية البلورية للكورديريت (شكل ٤-١٨): رباعي الأوجه بالموقع T1 حيث تشارك مع حافتين عكسيتين من وحدات ثماني الأوجه ذات تناسق كاتيوني M. تكّون هذه الحواف المشتركة لوحدات رباعي الأوجه وثماني الأوجه طبقات بنائية لا نهائية على شكل يشبه بنية خلايا النحل والمكونة من خلايا سداسية رفيعة (شكل ٤-١٨). تتعامد هذه الطبقات على المحور البلوري "c" وتسمى طبقات M. وعلى الجانب الأخر، توجد الحلقات السداسية المشوهة ذات رباعي الأوجه T2 بين الطبقات M. تشارك كل وحدة من رباعيات الأوجه بالموقع T2 ركنين مع وحدة رباعي الأوجه بالموقع T1 بالطبقات M المتواجدة أعلى وأسفل منها. بهذه الطريقة، تقوم وحدات رباعي الأوجه T1 بتوصيل حلقتين T2 والمتواجدة أسفل الطبقة M بحلقتين أخريتين أعلى من هذه الطبقة. الحلقات T2 ذات دوران عكسي قدره حوالي ٣٠ درجة بالنسبة

إلى طبقات T1 المجاورة، مما يعطى نوعين مختلفين من الطبقات T وتكرار مكون من طبقتين من نوع M وطبقه من النوع T (مالشيريك وأخرون Malcherek et al. ٢٠٠١). يؤدى ذلك إلى تكوين حزمة لانهائية من وحدات رباعي الأوجه T1 موازية للمحور البلورى "c".

تؤدى هذه البنية التركيبية لوحدات رباعي الأوجه ذات المشاركة الركنية إلى تكوين العديد من القنوات المفتوحة والموازية للوجه (100). تحتوى هذه القنوات على جزيئات من الماء وثانى أكسيد الكربون أو الكاتيونات كبيرة الحجم مثل البوتاسيوم أو الصوديوم. ومن الممكن هروب جزيئات الماء والمكونات المتطايرة من تلك البنية مع التسخين مما يؤدى إلى تكون الكورديريت اللامائى. فى حالة الكورديريت المائى، فأنه يحدث تناسق لكاتيون الصوديوم مع جزيئات الماء المتواجد بالفجوات القنوية فوقه وتحته (أرمبروستر Armbruster ١٩٨٦). فى حالة الكورديريت اللامائى، تختفى هذه الجزيئات من الماء مما يؤدى إلى زيادة الحركة الناتجة من حرارة التسخين لكاتيون الصوديوم خلال محور القناة Channel axis (أرمبروستر ١٩٨٦).

من الممكن حدوث نوع من الإحلال الكاتيونى بالمواقع رباعية الأوجه للكورديريت حيث يتواجد البيريليوم Be. هذا وقد تم تسجيل تركيزات ذات مغزى من البيريليوم بأنواع الكورديريت بصخور البيجماتيت الغنية بالصوديوم. يعكس ذلك إحتمالية حدوث إحلال من نوع $Be^{2+}+Na^{+}=Al^{3+}$ وهناك إحتمالية أخرى لعملية الإحلال والتى تم إثباتها معملياً بواسطة شراير Schreyer (١٩٨٥) والمتمثلة فى $Be^{2+}+Si^{4+}=2Al^{3+}$، مما يؤدى إلى تكون نوع إفتراضى ذو صيغة كيميائية $Mg^{2+}[BeAl_2Si_6O_{18}]$. هناك نوع من الإحلال المحدد للماغنسيوم فى بنية رباعيات الأوجه للكورديريت الماغنيسيومي وقد ذكر ذلك العديد من الباحثين (شراير ١٩٨٥، أرمبروتر ١٩٨٥ب) حيث يتم هذا الإحلال على الصورة: $Mg^{2+}+Si^{4+}=2Al^{3+}$، وحيث أنه يمكن تواجد الحديد الثنائى Fe^{2+} بمواقع

التناسق لرباعيات الأوجه، فأنه من الممكن إعادة صياغة معادلة الإحلال السابقة على هذا النحو: $(Fe,Mg)^{2+}+Si^{4+}= 2Al^{3+}$. وعلى الجانب الأخر، ذكر فانس وبرايس (١٩٨٤) Vance and Price أن هناك كميات محدودة من الحديد الثنائي Fe^{2+} بمواقع التناسق لرباعيات الأوجه، والناتجة من إحلاله للألومنيوم Al^{3+}. ويتعارض ذلك مع ما تم ذكره سابقاً والذى يفترض أن الحديد غير المتواجد بموقع ثمانى الأوجه يشغل القنوات بالبنية البلورية للكورديريت (جولدمان وأخرون ١٩٧٨ .Goldman et al). وحديثاً إقترح جيجر وأخرون (٢٠٠٠) .Geiger et al بأن الحديد يتواجد بالموقع T11 وذلك بالإستعانة بالتقنيات السبيكتروسكوبية وحيود الأشعة السينية للبلورة المنفردة.

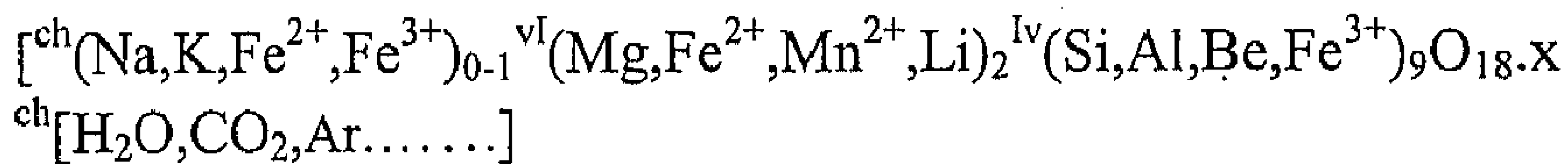
شكل ٤-١٨: البنية البلورية للكورديريت كما هو مرئي في إتجاه موازي للمحور البلوري "c" لبنية حلقية ذات ستة وحدات. تمثل القيم التى بين الذرات أطوال الرابطة المحسوبة (أنجستروم) من حيود النيوترون Neutron diffraction (تم تحويرها من كوهين وأخرون ١٩٧٧).

يتواجد الكورديريت الماغنيسيومي $Mg_2Al_4Si_5O_{18}$ علـــى صـــورتين متعددتى الشكل ويعتمد ذلك على ظـــروف الحـــرارة التـــى يتكـــون فيهـــا الكورديريت. ففى ظروف الحرارة المرتفعة، يتبلور الكورديريت على شكل سداسى ذو مجموعة فراغية *P6/mcc*، وتبلغ درجة حرارة الإســـتقرار لهـــذا النوع مـــن الكورديريـــت مايزيـــد عـــن ١٤٥٠ درجـــة مئويـــة (شـــراير وشايرار ١٩٦١ Schreyer and Schairer ، بوتنس ١٩٨٠أ Putnis)، مما يـــدل على عشوائية ترتيب كل من ذرات الألومنيوم والـــسيليكون. يعـــرف نـــوع الكورديريت ذو درجة الحرارة العالية باســـم إنـــدياليت Indialite أو باســـم الكورديريت العالى High-cordierite. ويتشابه تركيب الإندياليت مع تركيب البيريل ذو المجموعة الفراغية *P6/mcc*. مـــع عمليـــات التبريـــد، يتحـــول الكورديريت عالي الحرارة إلى النوع المنخفض الحرارة حيث يحدث له نوع من التشوه ويتحول من التبلور السداسى إلـــى التبلـــور المعينـــى القـــائم ذو المجموعة الفراغية *Cccm*، ويرجع ذلك إلى إستقرار ذرات الألومنيوم فـــى تناسق مرتب. بينما يكون الماغنسيوم والحديد فى مواقـــع ثمانيـــة الأوجـــه. ويحدث تغيير أيضاً فى أبعاد خلية الوحدة، حيـــث تكـــون الأبعـــاد ١,٧١ x ٠,٩٧ نانومتر بنسبة ١,٧٦%، وهى قيمة قريبة جداً للجذر التربيعى للـــرقم ٣. ولذلك تنقسم خلية الوحدة ثنائياً على شكل قريب جداً من مثلث قائم ٣٠-٦٠ درجة. يتواجد الكورديريت غالباً فى الطبيعة على هيئة المعينى القائم ذو درجة الحرارة المنخفضة وتماثل *Cccm* (جـــبس ١٩٦٦ Gibbs) والتركيبـــة الكيميائية $(Mg.Fe)_2[Al_4Si_5O_{18}]$. غالباً ما يحيد الكورديريت عن هذا التركيب المثالى ويحتوى على كميات جديرة أن تأخذ فى الإعتبار مـــن الـــصوديوم والجزيئات المتطايرة مثل بخار الماء وثانى أكسيد الكربـــون. تـــم إجـــراء دراسات عديدة للكورديريـــت الحديدوماغنيـــسيومي (جـــبس ١٩٦٦ Gibbs، كوهين وأخرون Cohen et al.١٩٧٧، هوكيلا وأخرون ١٩٧٩ Hochella et al.، أرمبروستر ١٩٨٦ Armbruster)، ورغم ذلك فهناك الكثير من صفاته ما زالت غير واضحة.

فى الكورديريت المائى، تترك وحدات رباعي الأوجه قنوات مفتوحة موازية للوجه البلوري (100) والتى تحتوى غالباً على الماء، ولكن أقل شيوعاً ثانى أكسيد الكربون والبوتاسيوم والصوديوم. من أهم التغيرات فى محتوى البنية البلورية للكورديريت الماغنيسيومي من جراء عملية الإنتقال من الهيئة السداسية إلى هيئة المعينى القائم هو عملية ترتيب ذرات الألومنيوم والسيليكون. تحت ظروف عدم الإتزان، يتم هذا الإنتقال من خلال ألية مستمرة من تتابع حالات متوسطة بين الهيئتين والتى تتصف بمعامل التشوة d (مايشيرو١٩٥٧ Miyashiro). تتراوح قيم المعامل d بين الصفر فى الكورديريت السداسي وحوالى٠,٢٥ فى الكورديريت الماغنيسيومي المعينى القائم والذى يتصف بالترتيب الكامل. على أى حال، فأن التغير التركيبى من *P6/mcc* إلى *Cccm* يدل على أن الحالات المتوسطة تكون شبه مستقرة وأن التتابع المستمر من الكورديريت العالي إلى المنخفض يعكس بالضرورة بنيات محدودة المدى. يتشابه هذا الوضع للكورديريت مع حالة الفلسبار البوتاسى حيث يمثل كل من السانيدين والميكروكلين متعددى الشكل غير المرتب والمرتب على التوالى (بوتنيس وماكونيل ١٩٨٠ Putnis and McConnell).

كيميائية المعدن

يعتبر تركيب الكورديريت المتواجد طبيعياً أكثر تعقيداً ويمكن كتابة صيغته الكيميائية على النحو التالى (شراير١٩٨٥):


$[^{ch}(Na,K,Fe^{2+},Fe^{3+})_{0\text{-}1}\,^{VI}(Mg,Fe^{2+},Mn^{2+},Li)_2\,^{IV}(Si,Al,Be,Fe^{3+})_9O_{18}.x\,^{ch}[H_2O,CO_2,Ar\ldots\ldots]$

حيث أن ch تعنى قناة Channel والتى تنشأ خلال البنية البلورية للكوردريت. يتعلق أحد هذه التعقيدات بدور الحديد الثنائى Fe^{2+} حيث أنه من المعروف أن معظم الحديد الثنائى Fe^{2+} يشغل الموقع M ثمانى الأوجه

(بيستروم ١٩٤٢ Byström). ورغم ذلك فأن هناك العديد من الدراسات التى تدل على أن الحديد الثنائى يمكن أن يشغل مواقع بنائية إضافية. كما أقتـــرح بعض الباحثين أن الحديد الثنائى الإضافى Fe^{2+} يقع فى فجوات القنـــوات أو فى حلقات ذات ستة وحدات والتى تكون موازيـــة للمحـــور "c" (جولـــدمان وأخرون ١٩٧٧ دانكان وجونستون ١٩٧٤ Duncan and Johnston). وعلى الجانب الأخر، أقترح بعض الباحثين أن الحديد الثنـــائى Fe^{2+} يحـــل محـــل السيليكون Si^{4+} والألومنيوم Al^{3+} بإحدى مواقع رباعي الأوجه (فانس وبرايس ١٩٨٤ Vance and Price). يوضح الجدول رقم (٤–٥) التركيب الكيميـــائي للكورديريت من مناطق مختلفة.

جدول ٤–٥: التحليل الكيميائي للكورديريت.

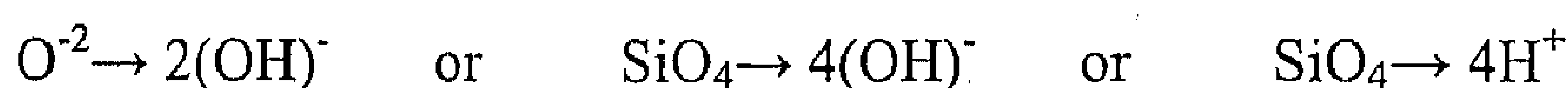
	١	٢	٣	كاتيونات=١٨ ذرة أكسجين	١	٢	٣
SiO_2	٤٥,٣٤	٤٨,٩٣	٤٩,٣٠	Si	٤,٩١	٤,٩٩	٤,٩٦
TiO_2	٠,٠٢	٠,٠١	٠,٠١	Al	٤,١٠	٣,٩٨	٣,٩٦
Al_2O_3	٣٢,١١	٣٣,١١	٣٣,٣٩	Fe^{2+}	١,٥٣	٠,٤١	٠,٠٢
FeO	١٦,٨٩	٤,٧٨	٠,٢٣	Mn^{2+}	٠,٠٧	٠,٠١	٠,٠٠
MnO	٠,٧٩	٠,٠٩	٠,٠٢	Mg	٠,٣٦	١,٦٢	٢,٠٩
MgO	٢,٢٣	١٠,٦٦	١٣,٩٤	Ca	٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠٠٢
CaO	٠,٠٥	٠,٠١	٠,٠٢	Na	٠,١٢	٠,٠٣	٠,٠٤
Na_2O	٠,٥٦	٠,١٢	٠,٢٠				
H_2O	--	--	١,٦٨				
المجموع	٩٧,٩٩	٩٧,٧١	٩٨,٩٥				

١= كورديريت من دولني بوري بجمهورية التشيك (Dolni Bory, Czech Republic) (جيجر وأخرون ٢٠٠٠ Geiger et al.).

٢= كورديريت من ساندســفال بالــسويد (Sundsvall, Sweden) (جيجــر وأخـــرون ٢٠٠٠ Geiger et al.).

٣= كورديريت طبيعي ومعالج حراريا (مالشيريك وأخرون ٢٠٠١ Malcherek et al.).

حسب ما ورد عن سيوجيورا Sugiura (١٩٥٩) وأياما Iiyama (١٩٦٠)، فأن هناك نوعين من جزيئات الماء فى تركيب الكورديريت والتى تم إستنباطه معملياً عن طريق حساب مقدار الفقد الوزنى عند تسخين المعدن. فقد وجد أن هناك فقد تدريجى للوزن عند درجة حرارة أقل من ٥٠٠ درجة مئوية ويمثل هذا الفقد كمية الماء المتواجدة بقنوات البنية البلورية للكورديريت. بينما يؤدى التسخين فوق درجة حرارة أكثر من ٥٠٠ درجة مئوية إلى فقد وزنى سريع والذى يمثل فقد لجزئيات الماء بالقنوات والأخرى التي تشغل مواقع رباعى الأوجه السيليكاتى من جراء أحدى عمليات الإحلال الأتية:



$$O^{-2} \rightarrow 2(OH)^{-} \quad \text{or} \quad SiO_4 \rightarrow 4(OH)^{-} \quad \text{or} \quad SiO_4 \rightarrow 4H^{+}$$

على الرغم من وجود الكثير من الدراسات التي تثبت تواجد جزئيات الماء في القنوات التركيبية للكورديريت فإن نوعين من الإحلالات المذكورة لم يتم التأكد منهما.

الصفات الفيزيائية والبصرية

يتميز الكورديريت باللون الأزرق والبنفسجى والرمادى والبنى أو أحياناً عديم اللون (شكل ٤-١٩). البريق زجاجى والمخدش أبيض اللون. البلورات شفافة إلى نصف شفافة. يتواجد الكورديريت على شكل كتلى أو حبيبات مضغوطة Compact مغموسة فى صخور متحولة مثل الشيست والنيس. أيضاً يتواجد كحبيبات فى رواسب الأودية. تتراوح الصلادة بين ٧-٧,٥ ويتراوح الوزن النوعي بين ٢,٦٠ و٢,٦٦ والإنفصام ضعيف وفى إتجاه واحد {010} وذو مكسر شبه محارى.

تحت الميكرسكوب، ممكن أن نرى الكورديريت صافى اللون، أزرق أو بنفسجى شاحب. يتميز الكورديريت بظاهرة التغير اللونى حيث يظهر مدى لونى من الأزرق والبنفسجى إلى الرمادى أو عديم اللون. يتحلل المعدن عادةً إلى كتل دقيقة الحبيبات تسمى بينيت Pinnite وقد يتحلل أيضاً إلى معادن

الميكا أو الكلوريت أو التلك حيث يصبح لونه مائلاً للأخضرار. من الناحية البصرية، فإن بلورة الكورديريت ثنائية المحور (− أو +)، حيث: ألفا (α) = ١,٥٤، بيتا (β) = ١,٥٥، جاما (γ)= ١,٥٦، قرينة الانكسار المزدوج (δ) = ٠,٠٢ والزاوية البصرية ($2V$)= ٦٥−١٠٥°. تتغير معاملات الانكسار بتغير تركيب الكورديريت والذى يعتمد إلى حد كبير على نشأته سواء كانت فى صخور نارية جوفية أو بيجماتيتية أو عروق كوارتز أو صخور بركانية أو متحولة.





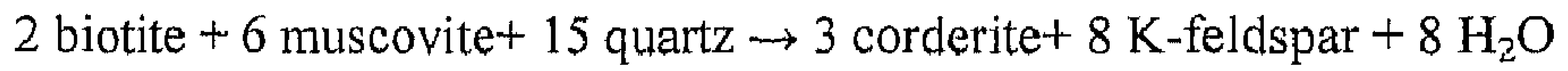
شكل ٤−١٩: كورديريت ذو لون أزرق ورمادي.

من الممكن أن تكون التوأمية بالكورديريت من النوع البسيط أو شرائحى Lamaller أو حلقي Cyclic أو معقدة. فى التوأمية الحلقية، تشع المستويات التركيبية من نقطة مركزية بزوايا ٣٠،٦٠،١٢٠ درجة. وتنحصر التوأمية المعقدة للكورديريت للأنواع المتواجدة بصخور النيس ذات الأصل الرسوبى تحت ظروف عالية من درجة الحرارة، بينما توجد التوأمية البسيطة للمعدن فى الصخور ذات درجة الحرارة المنخفضة. يحتوى الكورديريت أحياناً على مكتنفات من بلورات صغيرة من الزركون والأباتيت والتى غالباً ماتكون محاطة بفجوات متغيرة اللون Pleochroic halos ذات لون أصفر غامق بالأجزاء الخارجية، وتكون أفتح لوناً بالأجزاء الداخلية.

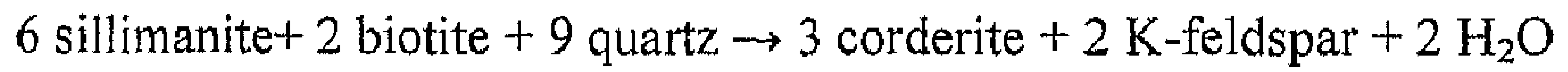
التواجدات والصحبة المعدنية

يتواجد الكورديريت بالصخور الطينية المتحولة تماسياً وكذلك بنطاقات التحول الأقليمى العالي الدرجة مثل صخور الشيست والنيس والجرانيوليت

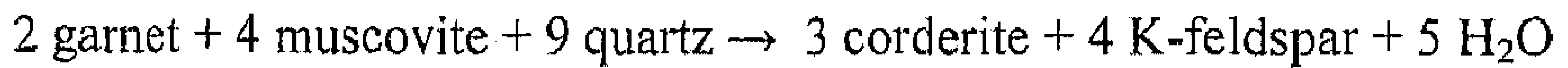
وكذلك بالصخور النارية مثل الجرانيت والنوريت وأيضاً برواسب الأودية. يزداد تواجد الكورديريت في الصخور البيليتية الغنية بالألومنيوم بسحنة الهورنبلند هورنفلس السفلى حسب التفاعلات التالية:


2 biotite + 6 muscovite+ 15 quartz → 3 corderite+ 8 K-feldspar + 8 H_2O

فلسبار بوتاسي كورديريت كوارتز مسكوفيت بيوتيت


6 sillimanite+ 2 biotite + 9 quartz → 3 corderite + 2 K-feldspar + 2 H_2O

فلسبار بوتاسي كورديريت كوارتز بيوتيت سيليمنيت

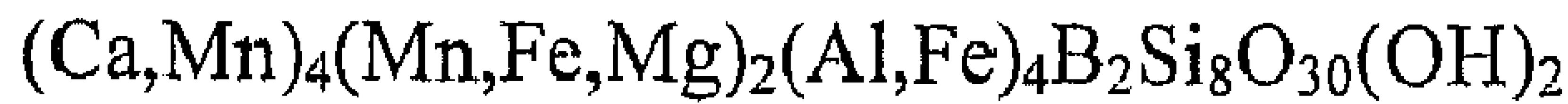

2 garnet + 4 muscovite + 9 quartz → 3 corderite + 4 K-feldspar + 5 H_2O

فلسبار بوتاسي كورديريت كوارتز مسكوفيت جارنت

هناك أماكن عديدة لتواجدات الكورديريت ومنها: منطقة بوديناميس بافاريا Bodenamis Bavaria بألمانيا وفنلندا والنرويج ومدغشقر وزيمبابوى وسيريلانكا والهند وأستراليا والولايات المتحدة الأمريكية وكندا.

الاستخدامات: يستعمل المعدن فى صناعة السيراميك والطوب الحراري.

الأكسينيت Axinite

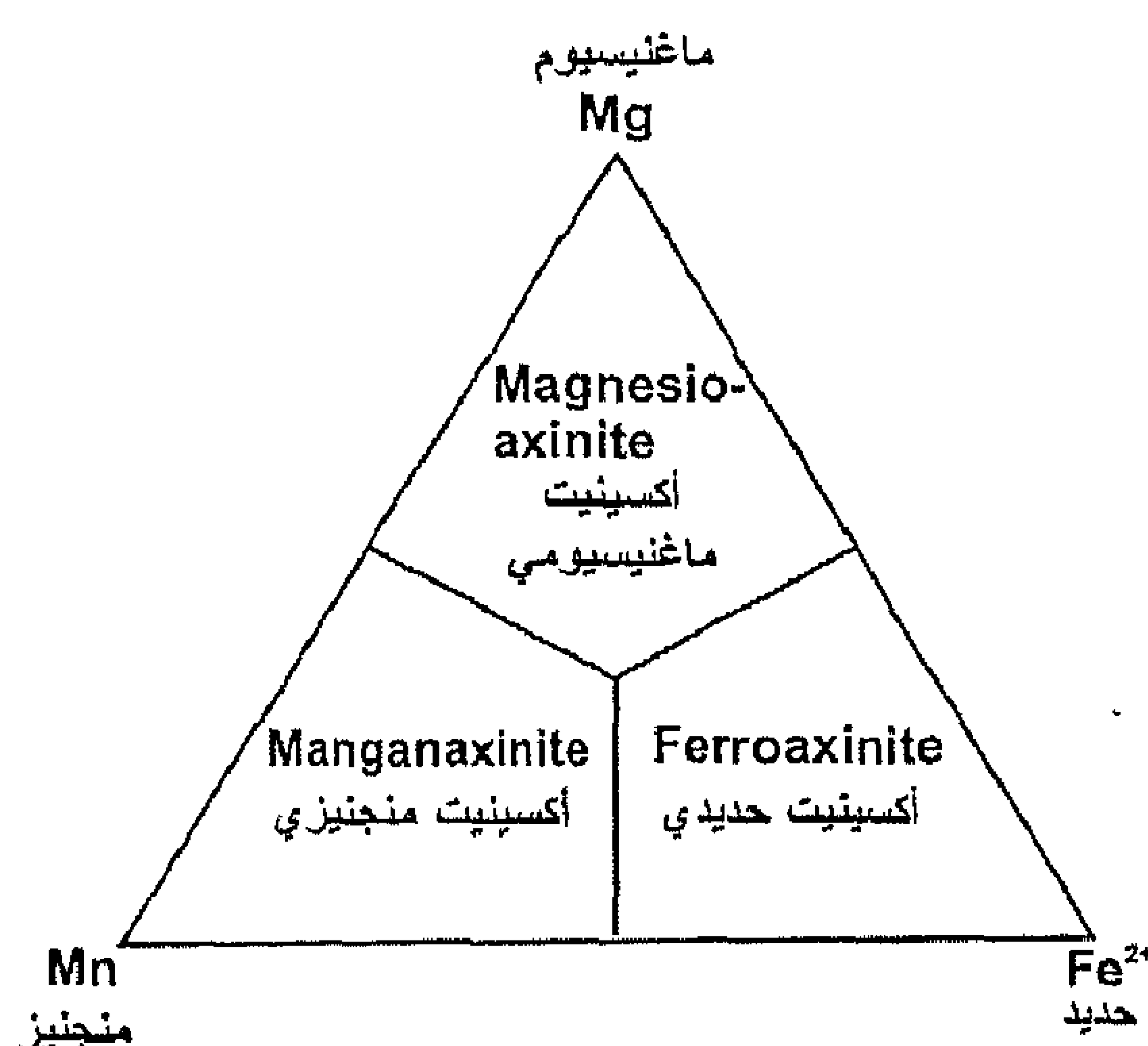

$(Ca,Mn)_4(Mn,Fe,Mg)_2(Al,Fe)_4B_2Si_8O_{30}(OH)_2$

تعتبر معادن الأكسينيت من الأصناف المعدنية المعقده والتى تتواجد بالبيئات المتحولة منخفضة إلى متوسطة الدرجة. يعد الأكسينيت أحياناً المعدن الوحيد الممثل لسيليكات البورون بالصخور المتحولة حيث أنه يعتبر بديلاً للتورمالين بالصحبات الفقيرة فى الألومنيوم والغنية بالكالسيوم.

يطلق اسم الأكسينيت على سلسلة من المعادن المتشابهة بنائياً حيث أن جميعهم لهم نفس البنية البلورية مع الإختلاف فى التركيب الكيميائى. يتم تسمية معادن الأكسينيت بناءً على محتواها أو إثراءها ببعض العناصر مثل الحديد والماغنسيوم والمنجنيز، فيماعدا معدن التينزينيت Tinzenite . تتمثل أعضاء سلسلة معادن الأكسينيت فى شكل رقم (٤-٢٠):

– الأكسينيت الحديدى Ferro-axinite: غنى بالحديد وذو لون بني إلى أسود

- الأكسينيت الماغنيسيومي Magnesio-axinite: غنى بالماغنـسيوم، ذو لون أزرق شاحب إلى رمادى.
- الأكسينيت المنجنيزى Mangano-axinite: غنى بـالمنجنيز، ذو لـون أصفر إلى برتقالى.
- التينزينيت Tinzenite: غني بالحديد والمنجنيز، أصفر اللون.



شكل ٤-٢٠: مثلث يبين الأنواع المختلفـة لمجموعـة الأكـسينيت حسب محتواها من الماغنسيوم والحديد والمنجنيز.

البنية البلورية

يتبلور الأكسينيت فى فصيلة الميول الثلاثة، نظام المسطوح، حيـث: أ= ٧,١٤٣٧، ب= ٩,١٨٩٨، ج= ٨,٩٥٢٩ أنجستروم. مجموع الذرات بخليـة الوحدة (Z)= ٢ ومجموعة النقطة 1 والمجموعة الفراغية *P*1. توجد البلورات على هيئة رفيعة حادة مثل نصل السكين وأيضاً على شكل كتلى وصـفائحى أو حبيبات. تتمثل البنية البلورية لمعادن الأكسينيت فى تتابع من الكاتيونـات المتناسقة بوحدات رباعى الأوجه وثمانى الأوجه. حيث تتصل وحدتى رباعى الأوجه السيليكاتى(Si_2O_7) بوحدتى رباعى الأوجه للبورات BO_4 لتكوين حلقة ذات ستة وحدات. هناك أيضاً مجموعتين إضافيتين من الـسيليكات الثنائيـة

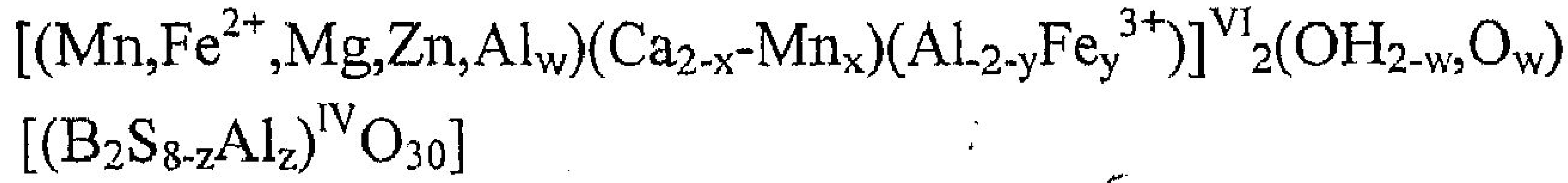
تشارك فى أركانها رباعى الأوجه للبورات BO_4، لتكون تجمع مستوى من $B_2Si_8O_{30}$. يظهر ثمانى الأوجه تشوهاً قليلاً حيث يتم ملئ أربعة منه بذرات الألومنيوم ويملىء أثنين بالمنجنيز والحديد أو الماغنسيوم، وتتشارك حوافهم ليكّونوا سلسلة لا نهائية ذات ستة وحدات Six-membered. يتم الربط بين هذه السلاسل عن طريق ثمانى الأوجه.

كيميائية المعدن

يعد التعرف على التركيب الكيميائى لمجموعة معادن الأكسينيت عملية معقدة لحد ما وذلك لصعوبة تحديد نسبة الحديد الثلاثى إلى الثنائى Fe^{3+}/Fe^{2+} وأيضاً صعوبة القياس الكمي للعناصر الخفيفة مثل البورون والهيدروجين. يتشابه ذلك مع معادن التورمالين من حيث دقة التحاليل باستخدام جهاز المسبار الإلكترونى. لقد أكدت الدراسات السبيكترسكوبية أن معظم الحديد بمعادن الأكسينيت يتواجد على شكل حديد ثنائى Fe^{2+} (تاكاشيما وأوهاشى ١٩٦٨ Takashima and Ohashi، بيزكا وكراكزيكا ١٩٩٤ Pieczka and Kraczka). كما سبق ذكره بالنسبة لكيميائية التورمالين، فإن معظم القياسات الكيميائية للأكسينيت خلال السنوات القليله الماضية كانت غير كاملة وذلك لصعوبة قياس عناصر البورون والهيدروجين (دير وأخرون ١٩٨٦). حديثاً، حدث تقدم تكنولوجى فى بعض وسائل التقنيات المعملية مثل جهاز مطياف الكتلة Secondary Ion Mass Spectrometry (SIMS) وجهاز المسبار الإلكتروني وجهاز تفلر الأشعة السينية X-Ray Flourecence وأجهزة أخرى، مما أدى إلى زيادة دقة قياس العناصر الخفيفة بمعادن السيليكات.

بحث أوزاكى Ozaki (١٩٧٠، ١٩٧٢) العلاقة بين تواجد الأكسينيت وتركيبه الكيميائى. حيث تمكن من تمييز خمس تواجدات مختلفة، هي: رواسب خامات غنية بالمنجنيز والحديد والبيجماتيت ورواسب خامات بيئات التحول التلامسى والتحوال وصخور التحول الإقليمى والعروق بالصخور النارية والرسوبية. يوضح شكل رقم (٤-٢١) أن المحتوى المنجنيزى للأكسينيت يقل بالترتيب المذكور سابقاً حسب نوع الصخر، رغم وجود

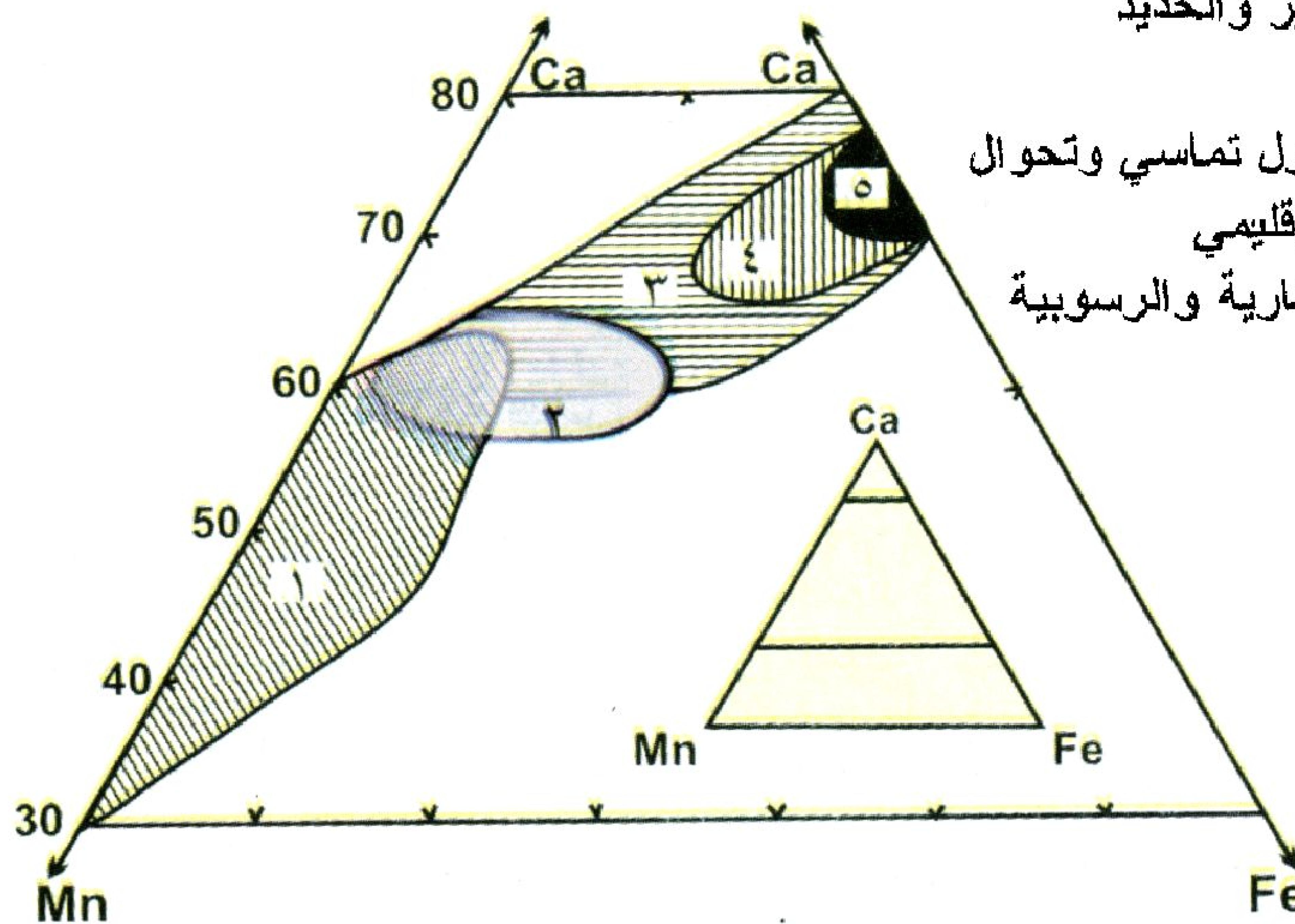
بعض التطابق. لقد فسر أوزاكى هذا التغير التركيبى على أنه راجع إلى تركيب الصخر الأصلى. أقترح لامبكين وريبى (١٩٧٩) Lumpkin and Ribbe الصيغة العامة لمجموعة معادن الأكسينيت وهى:



$$[(Mn,Fe^{2+},Mg,Zn,Al_w)(Ca_{2-x}-Mn_x)(Al_{-2-y}Fe_y^{3+})]^{VI}_2(OH_{2-w},O_w)$$
$$[(B_2S_{8-z}Al_z)^{IV}O_{30}]$$

حيث أن $w < 1$، $x< 1$، $y < 1$، $z< 1$ ويمثل VI و IV تناسق الكاتيونات. يطلق اسم الأكسينيت الحديدى $(Fe^{2+}Ca_2Al_2BSi_4O_{15}(OH))$ على الأكسينيت المحتوى على كالسيوم أكبر من ١,٥ (بوحدة الصيغة Per formula unit) وحديد أكبر من المنجنيز، بينما يطلق اسم الأكسينيت المنجنيزى $(Mn^{2+}Ca_2Al_2BSi_4O_{15}(OH))$ على الأنواع التى تحتوى على كالسيوم أكبر من ١,٥ ومنجنيز أكبر من الحديد (سانيرو وجوتاردى ١٩٦٨ Sanero and Gottardi). بينما يطلق اسم التينزينيت على الأنواع التى تحتوى على كالسيوم أكبر من ٢ وأقل من ٤ ومنجنيز أكبر من الحديد والذى يقابل الصيغة $(Ca,Mn,Fe)_3Al_2BO_3Si_4O_{12}(OH)$.

أكسينيت من :
١ = رواسب خام المنجنيز والحديد
٢ = بيجماتيت
٣ = رواسب خام ذو تحول تماسي وتحوال
٤ = صخور ذات تحول إقليمي
٥ = عروق بالصخور النارية والرسوبية



شكل ٤-٢١: مثلث لعناصر المنجنيز-الكالسيوم-الحديد يوضح مدى التغير في تركيب الأكسينيت بالتواجدات الصخرية المختلفة.

جدول ٤-٦: أمثلة لبعض التحاليل الكيميائية للأكسينيت.

	١	٢	٣	٤	٥
SiO_2	٤٢,٣٠	٤١,٧٠	٤٢,٣٠	٤٢,١٠	٤٤,٨٠
B_2O_3	٦,١٠	٦,٣٠	٦,١٠	٦,٣٠	٦,٥٠
Al_2O_3	١٧,٩	١٧,٥٠	١٧,٨٠	١٧,٧٠	١٨,٩٠
FeO	٤,٩٠	٩,٤٠	٨,٧٠	١٠,٦٠	٠,٠٠
MgO	١,٢١	٠,٧٤	٠,١٩	١,٠٧	٧,١٨
MnO	٦,١٥	٢,٨٨	٤,٧٠	٠,٤٠	٠,٥٠
CaO	١٩,٣٠	١٩,٠٦	١٨,٩٠	١٩,٣٨	٢٠,٦٠
H_2O	١,٥٠	١,٣٠	١,٤٠	١,٦٠	١,٦٠
المجموع	٩٩,٤٠	٩٨,٩٠	١٠٠,١	٩٩,٢٠	١٠٠,١
كاتيونات=٣٢ (أكسجين، هيدروكسيل O, OH)					
Si	٨,٠٠	٧,٩٨	٨,٠١	٧,٩٩	ة
B	٢,٠٠	٢,٠٧	١,٩٩	٢,٠٧	٢,٠٠
Al	٤,٠٠	٣,٩٤	٣,٩٨	٣,٩٥	٤,٠٠
Fe^{3+}	٠,٠٨	٠,١٩	٠,٢٢	٠,٠٠	٠,٠٠
Fe^{2+}	٠,٦٩	١,٣٢	١,١٦	١,٦٨	٠,٠٠
Mg	٠,٣٤	٠,٢١	٠,٠٥	٠,٣٠	١,٩٢
Mn	٠,٩٨	٠,٤٧	٠,٧٥	٠,٠٦	٠,٠٧
Ca	٣,٩٠	٣,٩١	٣,٨٤	٣,٩٤	٣,٩٦
OH^-	١,٩٠	١,٧٠	١,٨٠	٢,٠٠	١,٩٠

١= أكسينيت من بورج دي أوزان، فرنسا (Bourg d'Oisans, Isère, France).

٢= أكسينيت من روزبيري، تازمينيا، أستراليا (Rosebery, Tasmania, Australia).

٣= أكسينيت من هاجيكامي، اليابان (Hajikami, Japan).

٤= أكسينيت من سريلانكا (Sri Lanka).

٥= أكسينيت من تنزانيا (Tanzania).

بيانات التحاليل الكيميائية عن أندريوزي وأخرون (٢٠٠٠) .Andreozzi et al

أوضح أوزاكى (١٩٦٩،١٩٧٢) ولامبكين وريبى (١٩٧٩) Lumpkin and Ribbe أن عملية الإحلال خلال مجموعة معادن الأكسينيت تتم من خلال سلسلتين، إحداهما من الأكسينيت الحديـدي إلـى الأكـسينيت المنجنيـزى،

والأخرى من الأكسينيت المنجنيزى إلى التينزينيت. تعتمد عملية الإحلال بين عناصر المنجنيز والحديد والماغنسيوم والمنجنيز والكالسيوم على الفرق فى نصف القطر الأيونى بينهم وأيضاً على ظروف درجة الحرارة، حيث يتم تبادل محلول صلب مستمر بين الأكسينيت والتينزينيت تحت ظروف معادلة لسحنة الأمفيبوليت. عند درجات الحرارة المنخفضة، يحدث نوع من الفجوة الإمتزاجية Miscibility gap بسلسلة معادن الأكسينيت معتمدة على التركيب الكلى للصخر. وعلى عكس ذلك فأن هذه الفجوة تختفي فى المحلول الصلب Solid-solution عند درجات الحرارة العالية.

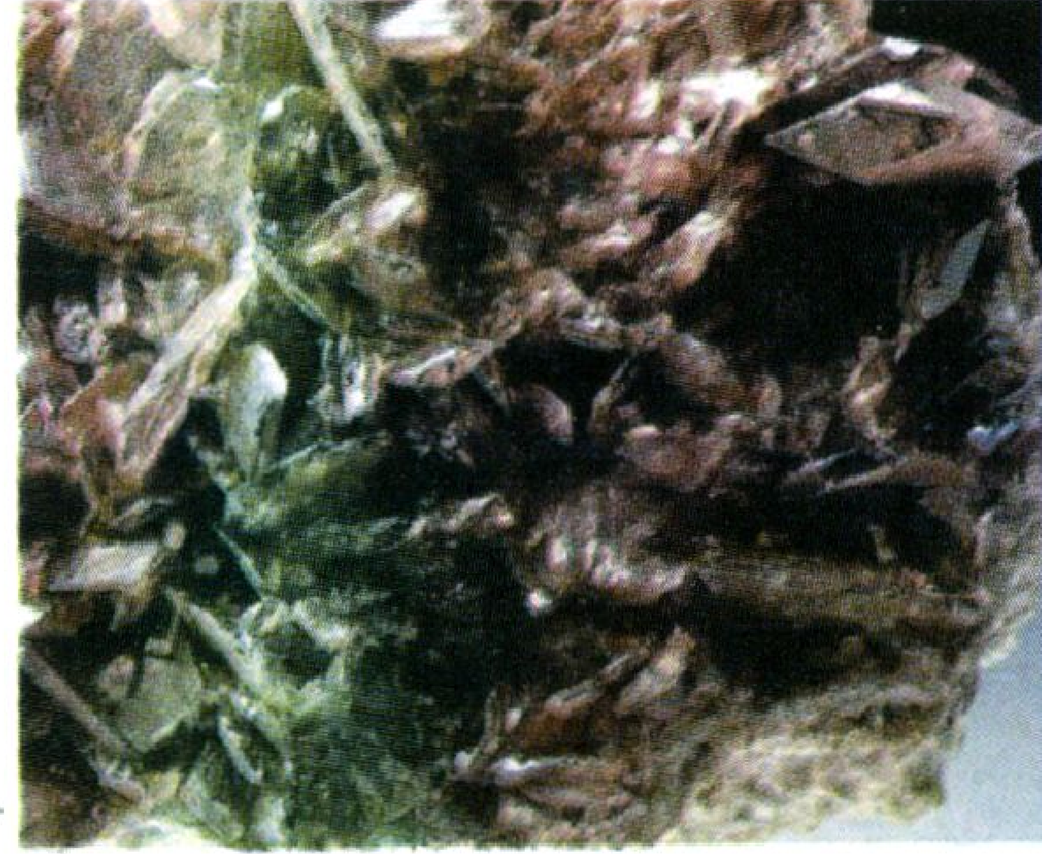
الصفات الفيزيائية والبصرية

تختلف ألوان معادن الأكسينيت حسب محتواها من عناصر الحديد والماغنسيوم والمنجنيز. يتراوح اللون بين البنى والأصفر والأصفر البرتقالى والرمادى والأزرق الشاحب إلى الأسود (شكل ٤-٢٢). البريق زجاجي. المخدش أبيض. المعدن شفاف إلى نصف شفاف. الصلادة ٦-٧,٥ والوزن النوعى٣-٣,٤. يتميز الأكسينيت بانفصام جيد بإتجاه واحد. المعدن ثنائي المحور سالب. معاملات الانكسار: ألفا (α)= ١,٦٧٤-١,٦٩٣ وبيتا (β)= ١,٦٨١-١,٧٠١ وجاما (γ)= ١,٦٨٤-١,٧٠٤. قرينة الانكسار المزدوج (δ) = ٠,٠٠٩-٠,٠١١ والزاوية البصرية ($2V$) = ٦٣-٨٠°.

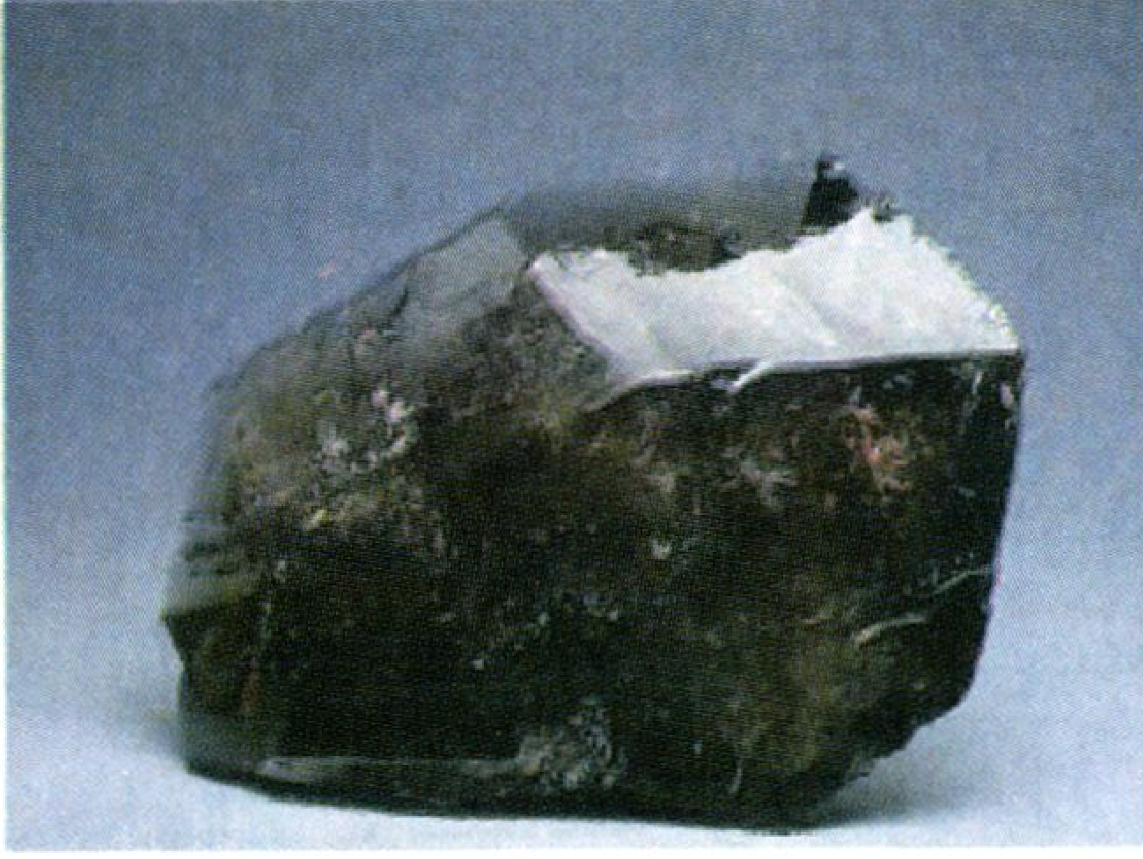
التواجدات والصحبة المعدنية

تم التعرف على الأكسينيت المنجنيزى بمنطقة فرانكلين بأمريكا بواسطة جينس وأخرون عام (١٨٩١) .Genth et al. كما تم التعرف أيضاً على هذا النوع بمنطقة ستيرلنج هيل بامريكا Sterling Hill. يتواجد الأكسينيت المنجنيزى بمنطقة فرانكلين ضمن الصحبة المعدنية لصخور فرانكلين أو كمعدن إضافى لصحبة السيليكات الكلسية. بينما فى منطقة ستيرلنج هيل، فأنه متواجد مع الصحبة المعدنية رودونيت وإبيدوت وكالسيت وهولانديت. وقد تم التعرف لأول مرة على الأكسينيت بالصخور المتحولة منخفضة الدرجة

عام (١٩٤٤) بواسطة كوجيما Kojima بحزام سامباجوا المتحول Sambagawa باليابان. يتواجد الأكسينيت بمنطقة سامباجوا بالطبقات الغنية بالستبلانوميلان (نوع من البيوتيت) Stiplanomelan وبصخر الشيست الأخضر.



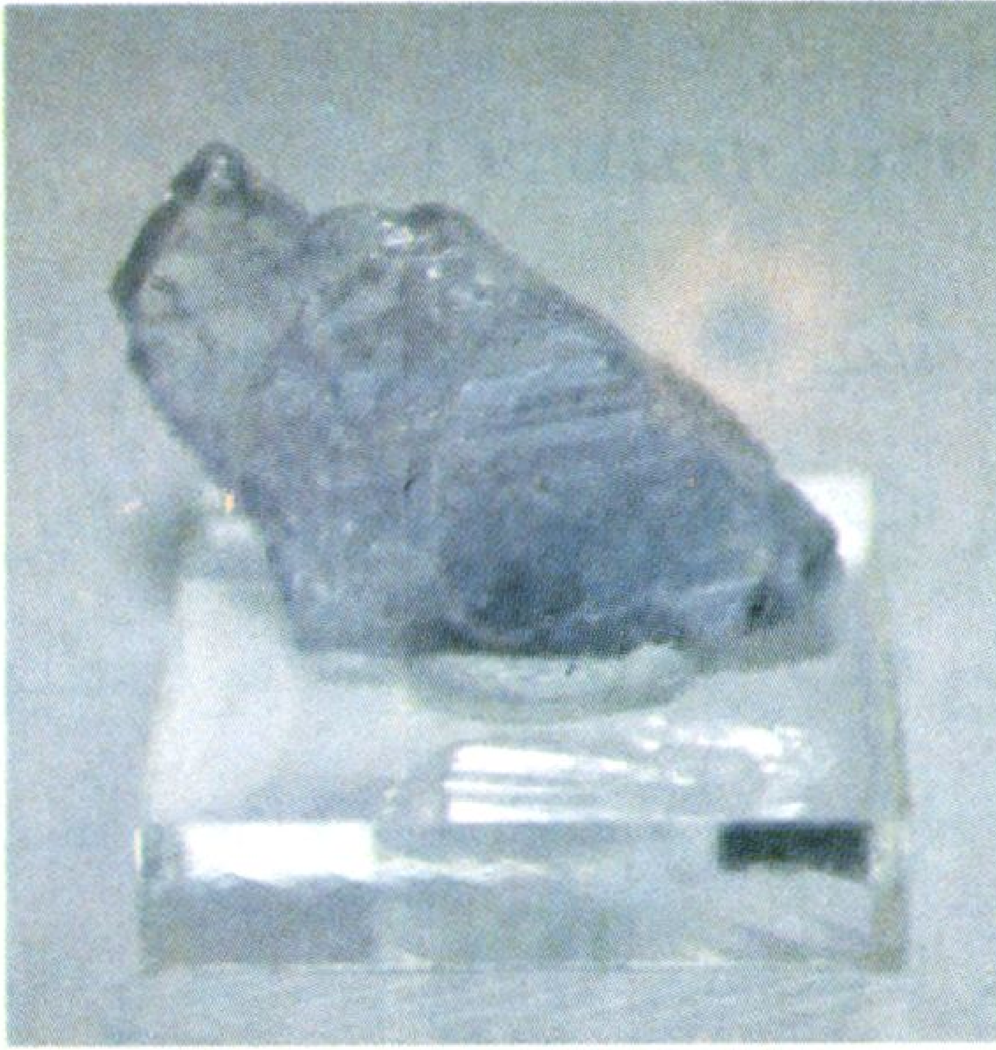
أكسينيت حديدي



أكسينيت



أكسينيت حديدي على إبيدوت أخضر اللون



أكسينيت ماغنيسيومي

شكل ٤-٢٢: أكسينيت حديدي وماغنيسيومي.

كما تم التعرف على الأكسينيت المنجنيزى بصخور سحنات الشيست الأزرق والشيست الأخضر بنطاق سانجن Sangun المتحول بجنوب غرب اليابان (نوريكى Nureki ١٩٦٧) حيث يتواجد كابورفيروبلاست. كما يتواجد الأكسينيت الحديدى بعروق فى الصخور المتحولة ومصاحباً لمعادن الكوارتز والكالسيت بصخور الأمفيبوليت والصخور النارية القاعدية المتداخلة. بشكل عام تتواجد معادن الأكسينيت بالصخور ذات التحول الأقليمى لسحنات أعلى من الزيوليت، كما يوجد أيضاً بصخور متحولة ذات

درجة منخفضة كما هو الحال فى نيوزيلنـــدا. يتواجــد الأكــسينيت أيـــضاً بالصخور ذات التحول التلامسى حيث تكون هناك فرصة لحدوث عمليـــات تحوال (تحول سائلى) والتى تسمح بتداخل البـــورون بالرواســـب الجيريـــة المجواه أو بصخور نارية قاعدية حيث تمر هذه الصخور بعمليـــات تغـــاير Alteration مع تكون كالسيت قبـــل التحـــول. المعـــادن المـــصاحبة هـــى: التورمالين والكالسيت والأكتينوليت والزوسيت والبريهنيت.

الباب الخامس
المعادن السيليكاتية السلسلية
Inosilicates

في هذه المعادن، ترتبط وحدات رباعى الأوجه السيليكاتى على هيئة سلسلة غير محددة الإمتداد، قد تكون مفردة كما هو الحال في مجموعة معادن البيروكسين والبيروكسينويد حيث ترتبط وحدات رباعي الأوجه مع بعضها عن طريق مشاركة ذرتى أكسجين لكل وحدتين متجاورتين أو تكون مزدوجة كما هو الحال فى معادن الأمفيبول حيث ترتبط السلاسل جانبياً وفوق بعضها البعض بواسطة عناصر أخرى مثل الكالسيوم والماغنسيوم لتكّون تركيباً مستمراً فى الأبعاد الثلاثة (أنظر شكل ١-١٠).

مجموعة البيروكسين Pyroxene Group

أُشتق اسم البيروكسين من كلمتين إغريقيتين بمعنى نار *pyro* وغريب *xene* ويرجع هذا الاسم إلى وجوده كبلورات مغموسة بالزجاج البركانى. إعتقد القدماء أن هذه البلورات عبارة عن شوائب بالزجاج وأطلقوا عليها اسم "غريب النار". تُعتبر مجموعة البيروكسين من أهم مجاميع معادن السيليكات الحديدوماغنيسية والتي توجد كأصناف مستقرة بمعظم أنواع الصخور النارية. كما توجد بالصخور المتحولة، سواء التجول التلامسي أوالتحول الإقليمي. تتميز مجموعة معادن البيروكسين بإنتشار واسع وكيميائية متغيرة وسهولة تغيرها من صنف إلى أخر، كل هذه الصفات جعلت منها معادن متميزة حيث تستخدم كمقياس حرارة أو مقياس ضغط. تتبلور معادن البيروكسين فى فصيلتى الميل الواحد والمعينى القائم. تعتبر المعادن المتبلورة بفصيلة المعينى القائم أبسط معادن البيروكسين من الناحية الكيميائية حيث تكّون سلاسل من محلول صلب [$(Mg,Fe)SiO_3$]، بينما تظُهر المعادن المتبلورة فى فصيلة الميل الواحد مدى واسع من التغيرات فى تركيبها الكيميائى.

نظراً لما تحتويه مجموعة معادن البيروكسين من بنية بلورية معقدة وأيضاً تنوع فى التركيب الكيميائى، فقد تم دراسة هذه المعادن بشكل مكثف

من قبل المهتمين بعلم المعادن وساعد على ذلك التقدم في وسائل التقنيات المعملية الحديثة. علاوة على ذلك، فإن فهم التركيب الكيميائى لمجموعة معادن البيروكسين والبنية البلورية وعلاقات الأصناف ببعضها يساعد إلى حد كبير فى فهم النشأة والتاريخ الحراري للعديد من الصخور التى تتواجد بها.

البنية البلورية

تتمثل الصيغة الكيميائية العامة لطائفة معادن البيروكسين فى:



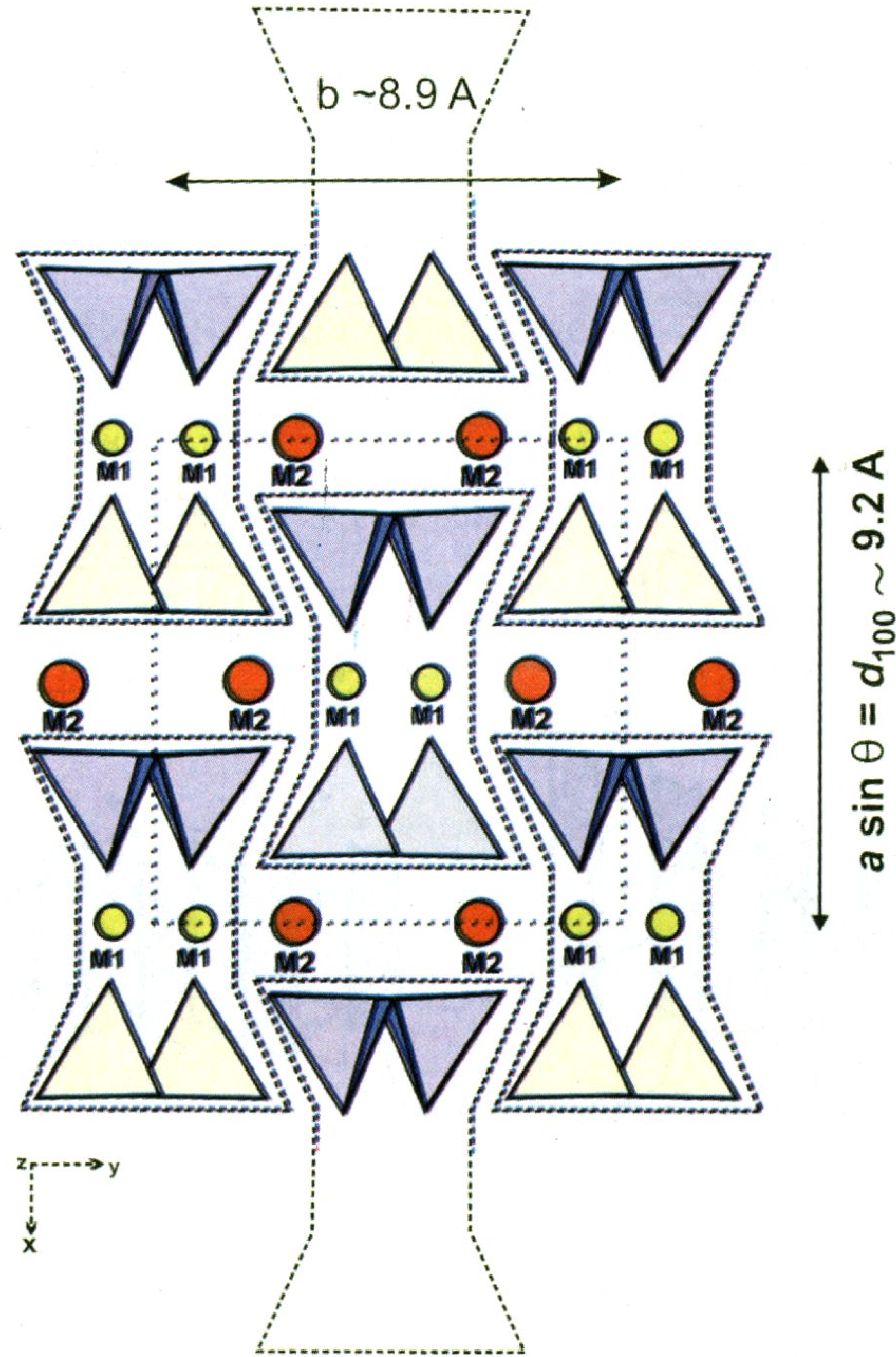
$$M1\ M2\ T2O_6$$

حيث M1: تمثل أيونات ذات حجم أيونى صغير مثل الكروميوم والألومنيوم والحديد الثلاثى والماغنسيوم والمنجنيز والسكانديوم والتيتانيوم والفانديوم. رغم أن الألومنيوم يحل محل السيليكون فى العديد من معادن السيليكات، إلا أن هذا لايحدث غالباً فى حالة البيروكسين.

M2: تمثل أيونات الكالسيوم والصوديوم والحديد الثنائى والماغنسيوم، كما تمثل أحياناً، بشكل نادر، منجنيز وليثيوم.

T2: سيليكون وألومنيوم وحديد ثلاثي.

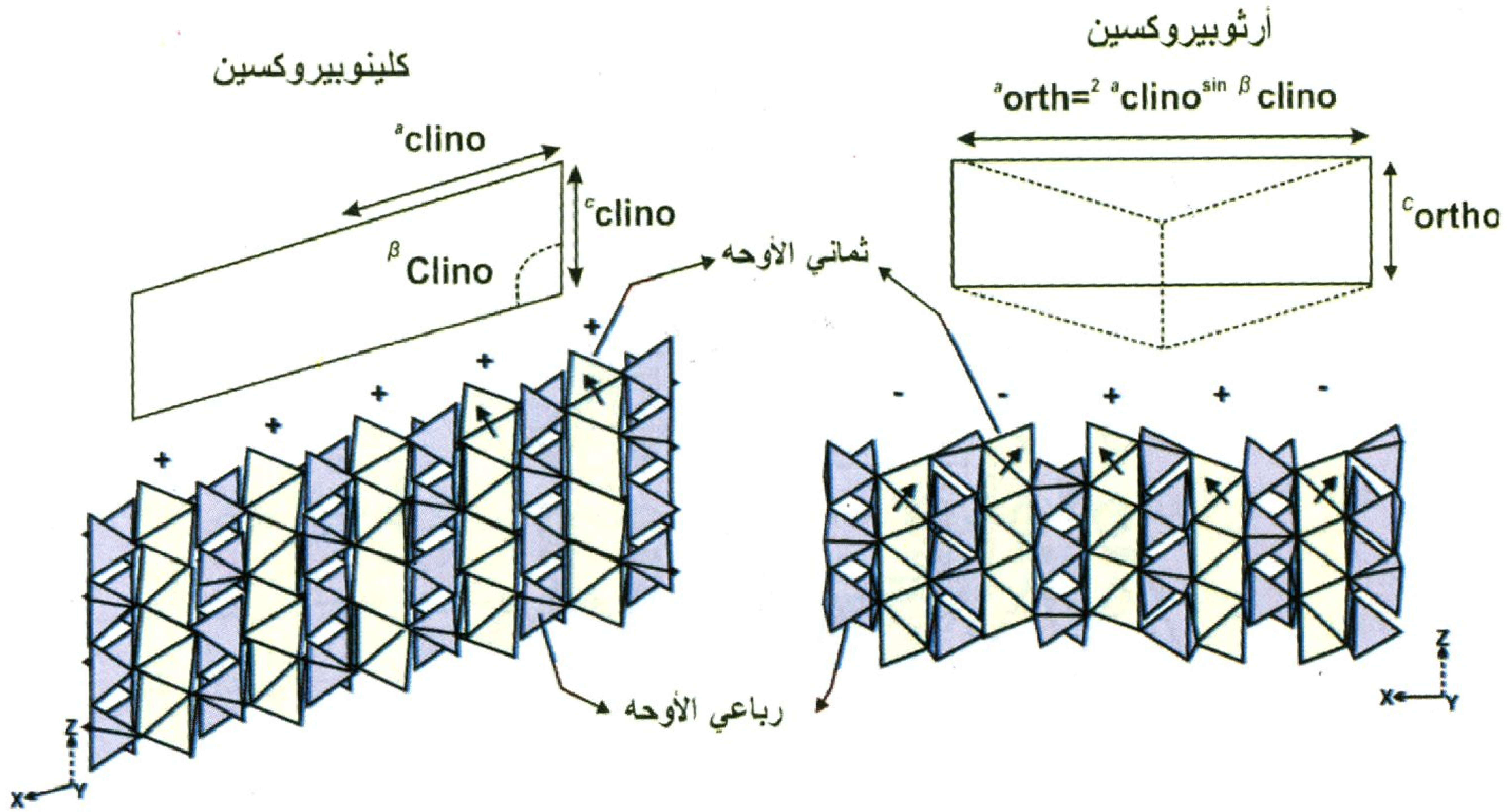
تتكون البنية البلورية للبيروكسين من سلاسل لرباعيات الأوجه SiO_4. تمتد هذه السلاسل موازية للمحور البلورى "c". تتراص كل سلسلة من رباعيات الأوجه فى إتجاه عكس الأخرى، بحيث تقابل قمم رباعى الأوجه فى أحد السلاسل قمم رباعى الأوجه بالسلسلة الأخرى، كما يقابل قواعد رباعى الأوجه بأحد السلاسل قواعد رباعى الأوجه بالسلسلة الأخرى. يسمح هذا التركيب بتكوين موقعين أساسين بالبنية البلورية للبيروكسين، الأول يسمى موقع ثمانى الأوجه M1 حيث يتواجد بين قمم رباعيات الأوجه، والثاني يسمى موقع ثماني الأوجه M2 والذى يشغل الفراغ الكائن بين قواعد رباعيات الأوجه (شكل ٥-١).



شكل ٥-١: البنية البلورية للبيروكسين.
(http://www.esc.cam.ac.uk/~rjh40/teaching.html)

تؤدى عملية الإحلال بين هذه الأيونات إلى إحداث نوع من التشوه للسلاسل مما يؤدى إلى إحداث تغير فى أبعاد خلية الوحدة ومن ثم تغير بنظام التماثل. هناك نوعين أساسين من البيروكسين، أحدهما يتبلور بفصيلة الميل الواحد (كلينوبيروكسين Clinopyroxene) وله مجموعة فراغية *C*2/C، والأخر يتبلور بفصيلة المعينى القائم (أورثوبيروكسين Orthopyroxene) وله مجموعة فراغية *P*bca. تختلف البنية البلورية لنوعي البيروكسين فى طريقة ترتيب السلاسل Chains الموازية للمحور البلورى "c" (شكل ٥-٢). يتضح من هذا الشكل الاختلاف فى طريقة رص مواقع ثمانية الأوجه M1، حيث يوجد إحتمالين لعملية الرص (يرمز لهما بالرمز+ و − فى هذا الشكل). فى

حالة الكلينوبيروكسين، تتخذ جميع ثمانيات الأوجه إتجاه واحد (+). على عكس ذلك، تتخذ ثمانيات الأوجه في حالة الأرثوبيروكسين طبقات ذات إتجاه مختلف فى تتابع-- ++-- ++-- ++.



شكل ٥-٢: طريقة رص مواقع ثماني ورباعي الأوجه بالبنية البلورية لنوعي البيروكسين.
(http://www.esc.cam.ac.uk/~rjh40/teaching.html)

كيميائية معادن البيروكسين وتصنيفها

تُعطى البنية السيليكاتية المتسلسلة لمجموعة معادن البيروكسين نوع من المرونة فى إشراك أنواع مختلفة من الكاتيونات مما يجعل تصنيف هذه المجموعة مبني بالدرجة الأولى على التركيب الكيميائى. تُصنف معادن البيروكسين بناءً على ما تشغلة هذه الكاتيونات من مواقع لثمانى الأوجه (M1 و M2) وكذلك الموقع رباعى الأوجه T. فى ضوء ذلك، فقد تم تصنيف البيروكسين إلى خمس مجاميع تحتية Sub- groups (جدول ٥-١):

١- بيروكسين ماغنسيومى- حديدي Magnesium- iron pyroxene، حيث يشغل أيوني الماغنسيوم والحديد النسبة الكبرى بالموقعين M1 وM2، بينما تشغل باقى الأيونات نسبة أقل من ١٠% من هذه المواقع.

٢- بيروكسين كالسي Calcic pyroxene، حيث يشغل الكالسيوم أكثر من ثلثي مواقع ثمانى الأوجه M2.

٣- بيروكسين صودى كالسي Sodic- Calcic pyroxene، حيث يشغل أيوني الصوديوم والكالسيوم معظم مواقع M2، مع شغل الموقع M1 بكاتيونات الماغنيسيوم والحديد الثنائي والألومنيوم والحديد الثلاثى.

٤- بيروكسين صودي Sodic pyroxenes، حيث يشغل أيون الصوديوم معظم مواقع M2، مع شغل الموقع M1 بكاتيونات الألومنيوم والحديد الثلاثى والكروميوم.

٥- بيروكسين غني بالليثيوم Lithium-pyroxene، حيث يشغل كاتيون الليثيوم معظم مواقع M2، مع شغل الموقع M1 بكاتيون الألومنيوم.

تتميز هذه المجاميع التحتية بوجود نوع من سلاسل تفاعلات المحلول الصلب Solid solution بينها مما يسمح بتكون معادن ذات تركيب كيميائي متوسط. تحتوى سلسلة الإنستاتيت-الفيروسيليت [$(Mg,Fe)SiO_3$] على حوالي ٥ % نسبة جزيئية mole % من الكالسيوم (شكل ٥-٣). تحتوى هذه السلسلة على ثلاثة من متعددي الشكل، هم: أرثوإنستاتيت، بروتوإنستاتيت (فصيلة المعينى القائم) والكلينوإنستاتيت (يتبلور بفصيلة الميل الواحد ويعادل معدن الفيروسيليت). تؤدى زيادة نسبة الكالسيوم إلى عدم تكّون المعادن المتبلورة بفصيلة المعينى القائم، ويسمح بتكون معدن البيجونيت المتبلور بفصيلة الميل الواحد. كما يتكون الأوجيت مع زيادة النسبة الجزيئية للكالسيوم ويوضح هذا الشكل الحد الفاصل (أكثر من ٤٥% نسبة جزيئية للكالسيوم) بين الأوجيت وبين سلسلة المحلول الصلب للديوبسيد-هيدينبرجيت ($CaMgSi_2O_6$-$CaFeSi_2O_6$). وحيث أن أيون الكالسيوم لايستطيع أن يشغل أكثر من ٥٠% (نسبة جزيئية) من الموقع M2 بالبنية البلورية للبيروكسين، فإن معدن الولاستونيت يمثل العضو النهائى المفترض لهذه المجموعة، ولكن الولاستونيت له بنية بلورية مختلفة مما يجعل تصنيفه يتبع مجموعة أخرى

من المعادن تسمى باسم مجموعة البيروكسينويد (سوف نعرض لها لاحقاً بهذا الباب).

جدول ٥–١: تصنيف البيروكسين.

نظام التبلور	المعادن	T_2O_6	M1	M2	المجموعة التحتية Sub-group
المعينى القائم	أرثوبيروكسين إنستاتيت Enstatite– فيروسيليت Ferrosillite	Si_2O_6	Mg,Fe	Mg,Fe	بيروكسين ماغنسيومى– حديدي
الميل الواحد	كلينوبيروكسين منخفض الكالسيوم بيجونيت Pigeonite	Si_2O_6	Mg,Fe	Mg,Fe,Ca	
	ديوبسيد Diopside– هيدينبرجيت Hedenberrgite	Si_2O_6	Mg,Fe	Ca	كلينوبيروكسين كالسي
	أوجيت Augite	$(Si,Al)_2O_6$	Mg,Fe,Al		
	أومفاسيت Omphacite	Si_2O_6	Mg,Fe^{2+}, Al,Fe^{3+}	Ca,Na	كلينوبيروكسين صودى كالسى
	إيجيرين–أوجيت Agerine-Augite	Si_2O_6	Mg,Fe^{2+}, Fe^{3+}		
	جاديت Gadite	Si_2O_6	Al	Na	كلينوبيروكسين صودى
	إيجيرين Agerine	Si_2O_6	Fe^{3+}		
	سبوديومين Spodumene	Si_2O_6	Al	Li	كلينوبيروكسين غنى بالليثيوم

ولاستونيت ($Ca_2Si_2O_6$)
ديوبسيد ($CaMgSi_2O_6$)
هيدينبرجيت ($CaFeSi_2O_6$)
أوجيت
فجوة مزيجية
Miscibility Gap
بيجونيت
إنستاتيت ($Mg_2Si_2O_6$)
أورثوبيروكسين (هيبرثين)
فيروسيليت ($Fe_2Si_2O_6$)

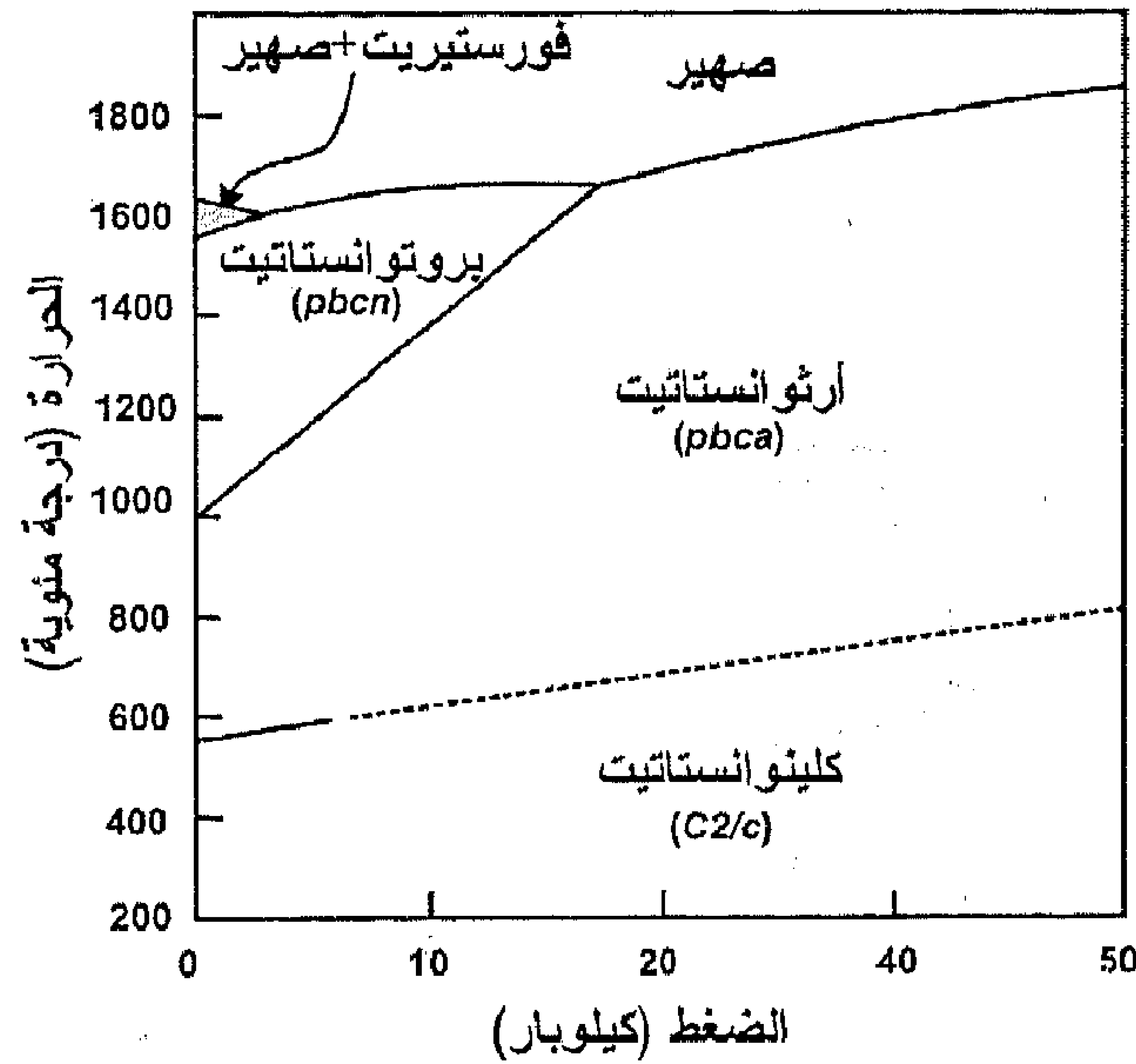
شكل ٥-٣: سلاسل تفاعلات المحلول الصلب Solid solution للمجاميع التحتية للبيروكسين (نيسى ٢٠٠٠ Nesse).

هناك أربع سلاسل أساسية لتفاعلات المحلول الصلب والتي يمكن إستنباطها من الشكل (٥-٣):

١- محلول صلب للأرثوبيروكسين (غالباً يشار إليها بسلسلة الهيبرثين)
٢- محلول صلب للبيجونيت-الأوجيت
٣- محلول صلب للديوبسيد- هيدينبرجيت
٤- محلول صلب للديوبسيد-الإنستاتيت

(١) تتكون سلسلة الهيبرثين من العضوين النهائيين الإنستاتيت ($Mg_2Si_2O_6$) والفيروسيليت ($Fe_2Si_2O_6$) . يظهر الإنستاتيت على شكل ثلاث معادن (متعددة الشكل): بروتوإنستاتيت وأرثوإنستاتيت وكلينوإنستاتيت. يمثل البروتوإنستاتيت المعدن المستقر عند درجات حرارة تزيد عن ١٠٠٠ درجة مئوية (شكل ٥-٤)، مما يجعل وجوده نادراً في الطبيعة. عند درجة حرارة أقل من ١٠٠٠ درجة مئوية، يتحول البروتوإنستاتيت

إلى أرثوإنستاتيت ثم إلى كلينوإنستاتيت عند درجة أقل من ٦٠٠ درجة مئوية. على الجانب الأخر، يصبح الفيروسيلليت غير مستقرعند الضغط المنخفض حيث يتفكك إلى خليط من الفياليت والكوارتز. يحدث تبادل بين الماغنسيوم والحديد بهذه السلسلة، حيث يمثل الإنستاتيت الطرف الغنى بالماغنسيوم، ويمثل الفيروسيليت الطرف الغنى بالحديد، بينما يمثل

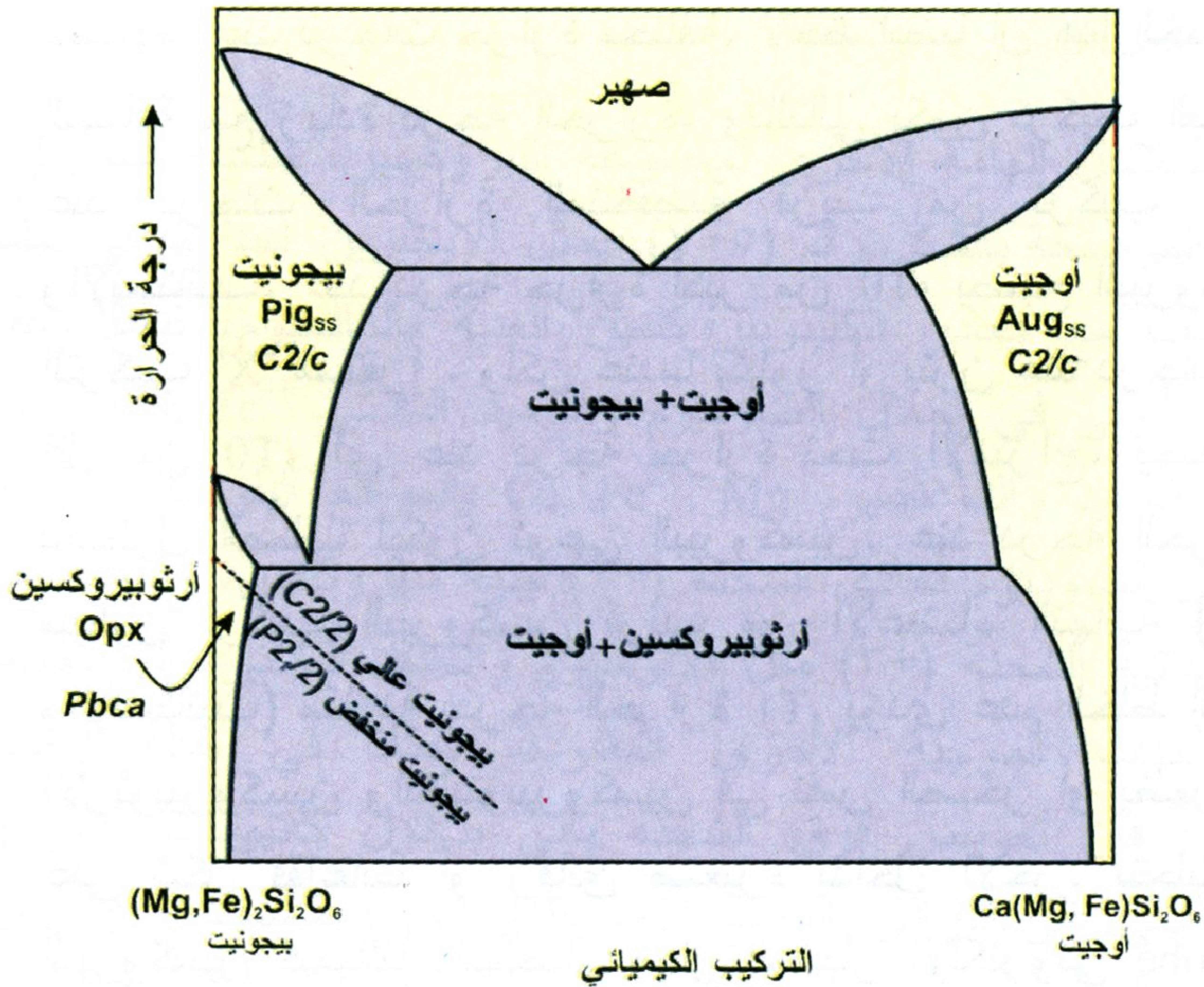


شكل ٥–٤: منحنى الضغط والحرارة لمتعددي الأشكال للإنستاتيت.
(http://www.esc.cam.ac.uk/~rjh40/teaching.html)

الهيبرثين الحالة الوسط ويحتوى على حوالى ٥٠% حديد. على عكس الفيروسيليت والذى يتواجد بصورة نادرة، نجد أن الهيبرثين هو أكثر معادن هذه السلسلة إنتشاراً. يتحكم وجود الحديد إلى حد كبير فى اللون الغامق لهذه المعادن، ولذلك فإن أى معدن غامق فى هذه المجموعة يتوقع أن يقع تركيبه بين الهيبرثين والفيروسيليت (أى أكثر من ٥٠% حديد).

(٢) سلسلة البيجونيت–الأوجيت: يظهر البيجونيت فجوة إمتزاجية Miscibility gap مع معدن الأوجيت. يعتبر المعدن غير مستقر عند درجات الحرارة المنخفضة إذا ما قورن بالأرثوبيروكسين والأوجيت (شكل ٥–٥). تعتمد حد إستقرارية البيجونيت عند درجات الحرارة

المنخفضة على نسبة الحديد إلى الماغنسيوم بالمعدن، فمثلاً يصبح المعدن مستقراً عند درجة حرارة ٩٠٠ درجة مئوية عندما تساوي هذه النسبة واحد. يعتبر البيجونيت ذو أهمية فى معرفة درجة تبلور المجما، وبشكل غير مباشر في معرفة المحتوى المائي لها، ويرجع ذلك إلى الحساسية العالية للبيجونيت مع تغير درجات الحرارة. يتبلور كلا المعدنين فى فصيلة الميل الواحد ويمكنهما قبول عنصر الكالسيوم بالبنية البلورية بالموقع M2. ولكن نظراً لإختلاف نصف القطر الأيوني بين الكالسيوم وكل من الحديد والماغنسيوم، فأنه يحدث نوع من رفع للمحتوى الحرارى Enthalpy لكلا المعدنين ومن ثم يختلطا فى محلول صلب ومن هنا تنشأ الفجوة الإمتزاجية عند الأصناف الوسطى لسلسلة البيجونيت-الأوجيت.

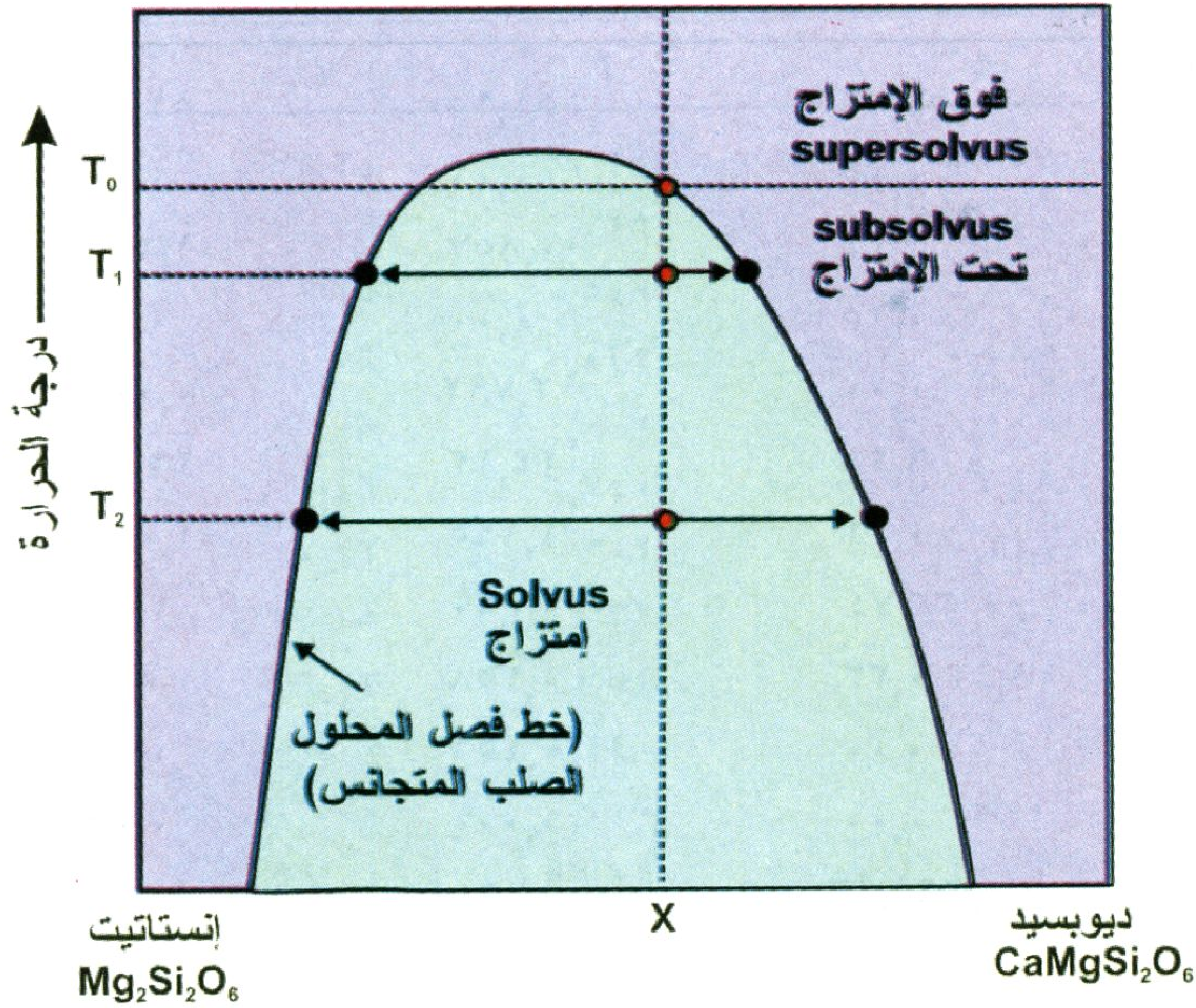


شكل ٥-٥: مخطط ثنائي الصنف بين طرفي سلسلة محلول صلب لمعدني البيجونيت والأوجيت.

(http://www.esc.cam.ac.uk/~rjh40/teaching.html)

(٣) سلسلة الديوبسيد- الهيدينبرجيت: ينتمي كلا المعدنين للكلينوبيروكسين ويشغل أيون الكالسيوم الموقع M2 بالبنية البلورية، بينما يتبادل أيوني الماغنيسيوم والحديد الثنائي الموقع M1. تعتبر هذه السلسلة من أهم سلاسل المحلول الصلب لمجموعة معادن البيروكسين وتشتمل على معدنى الهيدينبرجيت $CaFeSi_2O_6$ والديوبسيد $CaMgSi_2O_6$. تشهد هذه السلسلة عمليات للتبادل الأيونى للحديد والماغنسيوم بالموقع M2 ويمثل الديوبسيد المعدن الغنى بالماغنسيوم، بينما يمثل الهيدينبرجيت المعدن الغنى بالحديد.

(٤) تستخدم سلسلة الديوبسيد-الإنستاتيت فى تطبيقات مقاييس الحرارة والضغط Geothermobarometry، وذلك لتوفر نوع من الفجوة الإمتزاجية بين كل من المعدنين (شكل ٥-٦). يوضح هذا الشكل خط فصل المحلول الصلب الممتزج Solvus حيث يظهر كلا النوعين مع بعضهما عند درجات حرارة مختلفة. لاحظ أيضاً أن هذا الخط يقل فى المسافة مع زيادة درجة الحرارة، وبالتالى يكون تركيب البيروكسين عند درجات الحرارة المنخفضة قريب من تركيب الديوبسيد والإنستاتيت. عند درجة حرارة أكبر من T0، يصبح البيروكسين ذو التركيب "X" مستقراً . ولكن عندما يتبلور أو يتزن عند درجات حرارة أقل من T0، أي عند درجة حرارة تحت الإمتزاج، يحدث فصل للمحلول الصلب ليكّون نوعي البيروكسين. عند درجة الحرارة T2، سيكون تركيب البيروكسين قريب من الأعضاء النهائية (الديوبسيد والإنستاتيت) مقارنة بدرجة الحرارة T1. يؤدى عدم الخلط إلى وجود الأرثوبيروكسين والكلينوبيروكسين فى نفس الصخر أو يظهر أحدهما على شكل فقاعات أو رقائق صغيرة بداخل الأخر. بتحليل نوعي البيروكسين كيميائياً باستخدام جهاز المسبار الإلكترونى Microprobe يمكن حساب حرارة إتزان كلا المعدنين وأيضاً حساب درجة حرارة تكون الصخر.



شكل ٥–٦: مخطط يوضح خط فصل المحلول الصلب المتجانس للديوبسيد-إنستاتيت (بيركينز Perkins ٢٠٠٢).

ومن السلاسل الهامة الأخرى لمجموعة البيروكسين، سلسلة البيروكسين الصودي والموضحة بالشكل رقم (٥–٧). يمثل الإيجيرين أحد طرفي سلسلة محلول صلب مع معادن الكلينوبيروكسين الغنية بالكالسيوم. تتمثل عملية الإستبدال الأيونى فى إحلال الصوديوم والحديد الثلاثى Na & Fe^{3+} محل الكالسيوم والحديد والماغنسيوم Ca, Fe^{2+}, Mg بالمواقع البلورية M_2, M_1. يرجع دخول الصوديوم أحادى الشحنة (+١) لبنية البيروكسين، وكذلك دخول كاتيونات ثلاثية الشحنة (+٣) مثل الألومنيوم والحديد الثلاثى، إلى تعويض بعض الشحنات الموجبة الأخرى المفقودة. فمثلاً في حالة الجاديت والإيجيرين، فإن تعويض فرق الشحنة يأتى بدخول كاتيونات الألومنيوم والحديد الثلاثى على التوالي بالموقع M1. يطلق اسم أومفاسيت أو إيجيرين-أوجيت على البيروكسين الصودي الذى يحتوى على ما يزيد عن٢٠% (نسبة جزيئية) للكالسيوم والماغنسيوم والحديد الثنائى.

جدول ٥-٢: التحليل الكيميائي للبيروكسين من مناطق مختلفة.

	١	٢	٣	٤
SiO_2	٥١,٧٥	٥١,١٥	٥٦,٧٢	٥٠,١١
TiO_2	٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠٥	٠,٠٠
Al_2O_3	١,٢٣٥	٠,٨٥٧	٢,٧٤	٠,٣٧
Cr_2O_3	٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٢٥	٠,٠٠
Fe_2O_3	٠,١٠٥	٢,٧٩٢	٠,٠٠	٠,٠٠
FeO	٢٦,٩٢	٢٤,١٣	٦,٢٨	٣٤,٩٤
MnO	١,٠٠٢	١,١٩٥	٠,١٢	٠,٢٩
MgO	١٨,٧	١٨,٦٠	٣٣,٧٤	١٢,٩٣
CaO	٠,٥٥٩	٠,٣٥٨	٠,٣٣	٠,٥٦
Na_2O	٠,٠٠	٠,٤٥٦	٠,٠٠	٠,٠٠
K_2O	٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠٠
المجموع	١٠٠,٢٧	٩٩,٥٤	٩٩,٩٧	٩٩,٢٠

كاتيونات=٦ ذرة أكسجين

	١	٢	٣	٤
Si	١,٩٦٩	١,٩٥٩	١,٩٥	٢,٠١
Ti	٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠٠١	٠,٠٠
Al	٠,٠٥٥	٠,٠٣٩	٠,١١١	٠,٠١٧
Cr	٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠٠٧	٠,٠٠
Fe^{3+}	٠,٠٠٣	٠,٠٨	٠,٠٠	٠,٠٠
Fe^{2+}	٠,٨٥٧	٠,٧٧٣	٠,١٨١	١,١٧
Mn	٠,٠٣٢	٠,٠٣٩	٠,٠٠٤	٠,٠١
Mg	١,٠٦١	١,٠٦٢	١,٧١٧	٠,٧٧٢
Ca	٠,٠٢٣	٠,٠١٥	٠,٠١٢	٠,٠٢٤
Na	٠,٠٠	٠,٠٣٤	٠,٠٠	٠,٠٠
K	٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠٠

١ - ٢ = إنستاتيت بصخور النيس بوادي جيثوا Wadi Jithwah، المملكة العربية السعودية (الفيلالي وعبد النبي ٢٠٠٣).

٣= إنستاتيت بالصخور فوق المافية بمنطقة ميريلاني بشمال شرق تنزانيا (Merelani, northeast Tanzania) (موهونجو وأخرون Muhongo et al. ١٩٩٩).

٤ = فيروسيلليت بصخور الجرانيوليت بشمال الصين (Central Zone of the North China Craton) (زهاو وأخرون Zhao et al. ٢٠٠٠).

تابع جدول ٥-٢: التحليل الكيميائي للبيروكسين من مناطق مختلفة.

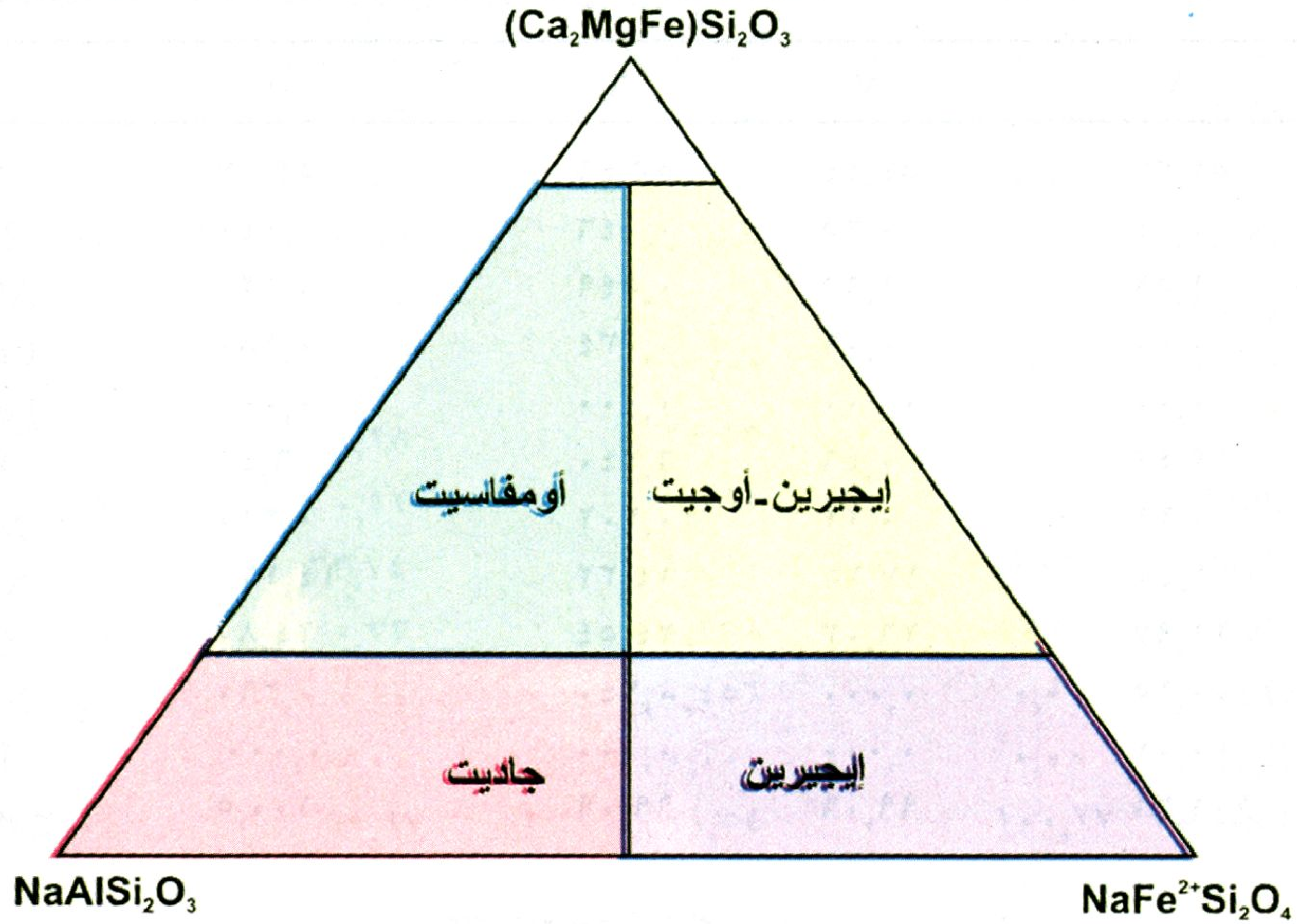
	٥	٦	٧	٨
SiO_2	٥٣,٥٧	٥٣,٤٩	٥٣,٢٤	٥٢,٣٦
TiO_2	٠,٠٤٠	٠,٠٤٦	٠,٢٥	٠,٠٤
Al_2O_3	٠,٨٢٠	٠,٥٤٩	١,٦٥	١,٥٩
Cr_2O_3	٠,١٨٠	٠,٠٣٤	٠,٠٦	٠,٠٠
Fe_2O_3	٠,٠٠٠	٠,٠٠٠	٠,٠٠٠	٠,٠٠
FeO	٦,٤٨	٦,٧٤٠	٠,٤٦	١٣,٤٢
MnO	٠,٢١٠	٠,٣٠٢	٠,٢٢	٠,٢١
MgO	١٤,١٦	١٤,٣٢	١٧,١٥	١١,٤٥
CaO	٢٤,٨٠	٢٤,٥٤	٢٦,٠٣	٢١,٩٧
Na_2O	٠,٢٦٠	٠,٢٤٠	٠,٠٠٠	٠,١٥
K_2O	٠,٠٠٠	٠,٠٠٠	٠,٠٠٠	٠,٠٧
المجموع	١٠٠,٥	٩٩,٠٩	٩٩,٠٦	١٠١,٢٦
كاتيونات=٦ ذرة أكسجين				
Si	١,٩٨	١,٩٧٨	١,٩٥	١,٩٦٤
Ti	٠,٠٠	٠,٠٠١	٠,٠١	٠,٠٠١
Al	٠,٠٤	٠,٠٢٤	٠,٠٧	٠,٠٧
Cr	٠,٠١	٠,٠٠١	٠,٠٠	٠,٠٠
Fe^{3+}	٠,٠٠	٠,٠٠٠	٠,٠٠	٠,٠٠
Fe^{2+}	٠,٢٠	٠,٢٠٩	٠,٠١	٠,٤٢١
Mn	٠,٠١	٠,٠٠٩	٠,٠١	٠,٠٠٧
Mg	٠,٧٨	٠,٧٩٢	٠,٩٤	٠,٦٤
Ca	٠,٩٨	٠,٩٦٨	١,٠٢	٠,٨٨٣
Na	٠,٠٢	٠,٠١٧	٠,٠٠	٠,٠١١
K	٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠٠٣

٥= ديوبسيد بصخور الامفيبوليت بمنطقة وادي حيمور، جنوب الصحراء الشرقية، مصر (عبد النبي وأخرون ٢٠٠٠).

٦= ديوبسيد بصخور الامفيبوليت بمنطقة حفافيت، مصر (عبد النبي وفريش ، تحت التحضير In preparation).

٧= ديوبسيد بالصخور الرسوبية المتحولة metasediments بمنطقة القظة، المملكة العربية السعودية (درووب والفيلالي ١٩٩٦ Droop and Al-Filali).

٨= ديوبسيد بصخور الجرانيوليت بشمال الصين (Central Zone of the North China Craton) (زهاو وأخرون ٢٠٠٠ Zhao et al.).



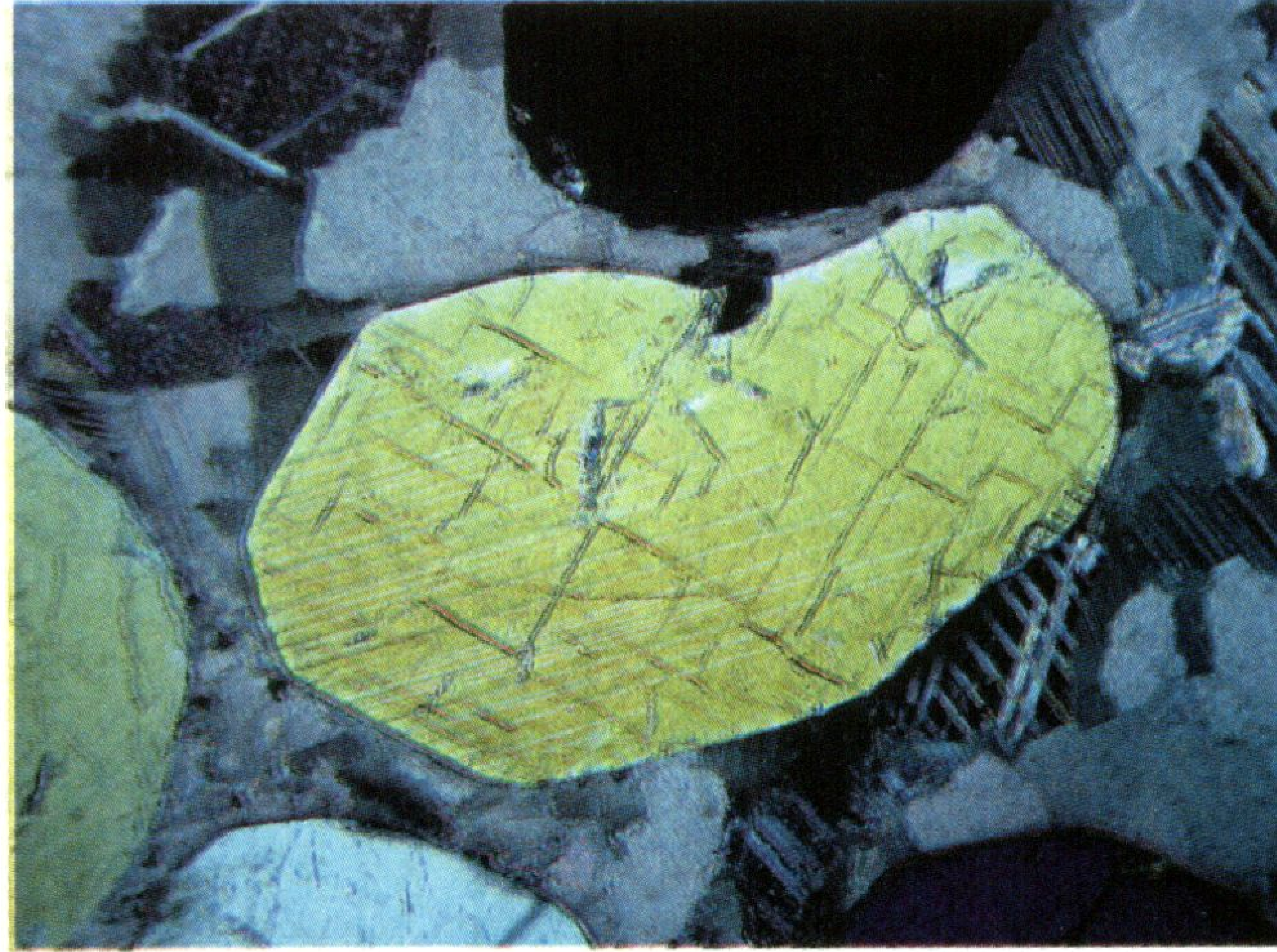
شكل ٥-٧: مجموعة معادن البيروكسين الصودي.

الصفات الفيزيائية والبصرية

يعتمد لون البيروكسين على محتواه من الحديد ويكون عديم اللون فى حالة خلوه منه (مثل الإنستاتيت والديوبسيد والجاديت). ومع زيادة محتوى الحديد، يتدرج اللون من أخضر فاتح، أصفر إلى أخضر غامق أو بني مخضر إلى بني أو أسود مخضر أو أسود (مثل الأرثوبيروكسين والأوجيت والهيدينبرجيت والإيجيرين). يمكن أن يكون السبوديومين عديم اللون أو أخضر مصفر (هيدينيت Hiddenite) أو وردي (كونزيت Kunzite). البريق زجاجى أو لؤلؤي أو شبه فلزي. المخدش أبيض أو أخضر فاتح أو بني فاتح. المعادن شفافه إلى نصف شفافة. تتراوح الصلادة بين ٥ و٦ والوزن النوعى بين ٣,٢ (إنستاتيت وديوبسيد) إلى ٤ (فيروسيلليت).

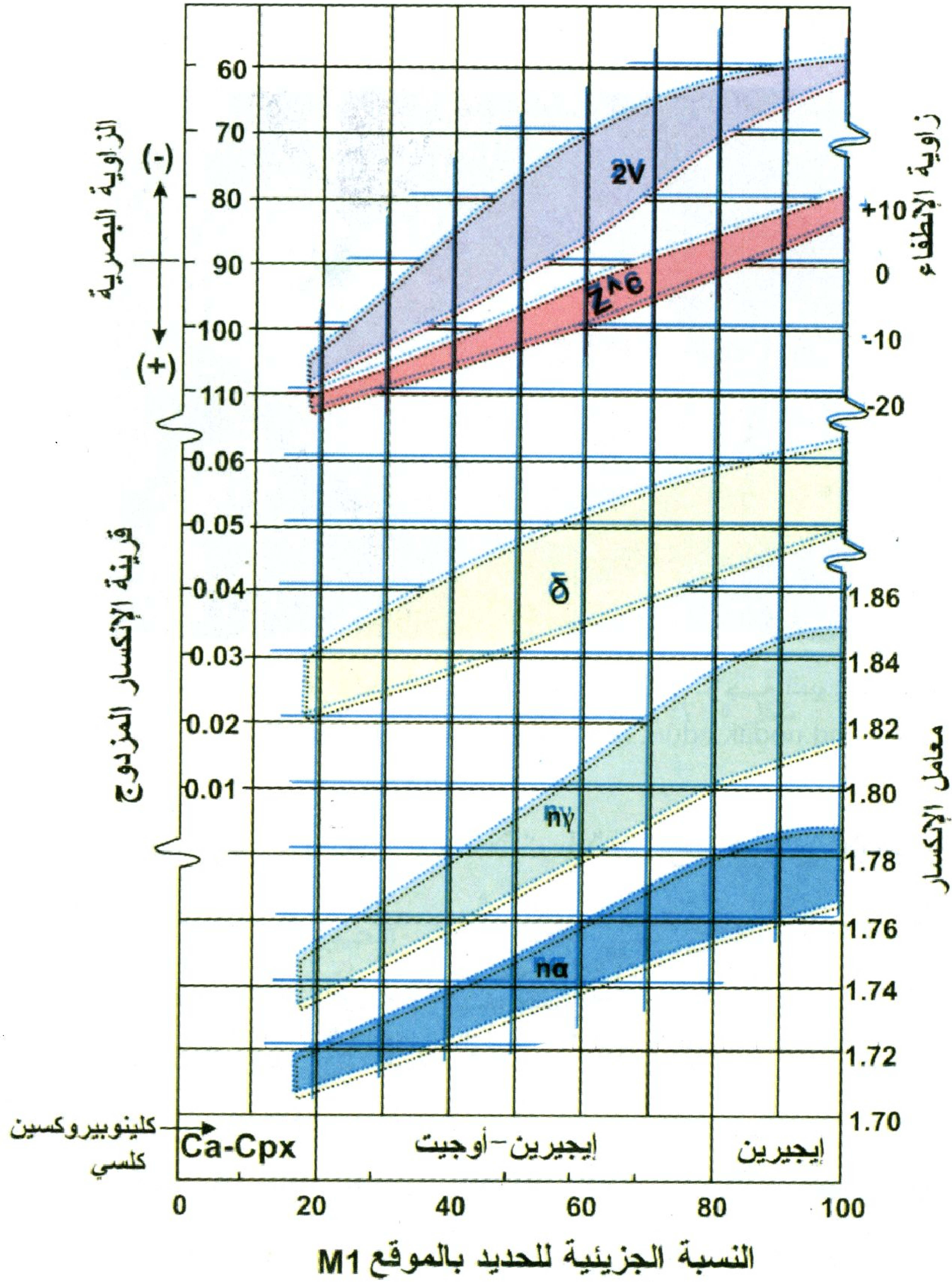
تحت الميكروسكوب، البيروكسين عديم اللون بالضوء المستقطب، وتُظهر الأنواع الغنية بالحديد ألوان من البنى الفاتح إلى الأخضر. كما يُظهر الأرثوبيروكسين الغنى بالحديد تغير لوني من الوردي إلي الأخضر وخصوصاً عندما تصل نسبة إحلال الماغنسيوم للحديد ٣٠%. أهم ما يميز

الكلينوبيروكسين هو وجود مستويين إنفصام يلتقيا عند زاوية قدرها ٩٠° ويوازيا المستوى {110} (شكل ٥-٨).



شكل ٥-٨: إنفصام مميز في إتجاهين بينهما زاوية ٩٠ درجة للديوبسيد ومعادن الكلينوبيروكسين الأخرى، www.und.nodak.edu/.../opticalmin/cleavage.htm

يوضح شكل (٥-٩) تغير معاملات الانكسار وقرينة الانكسار المزدوج وزاوية الإنطفاء والزاوية البصرية بتغير المحتوى الحديدي بالموقع M1 بسلسلة الإيجيرين-إيجيرين أوجيت. كما تزداد معاملات الانكسار والزاوية البصرية (من ٥٦ إلى ٦٢°) وزاوية الإنطفاء (من ٣٨ إلى ٤٨°) بزيادة محتوى الحديد والمنجنيز بسلسلة الديوبسيد-الهيدينبرجيت. وبالمثل، تتغير الخواص البصرية مع إحلال الحديد الثنائي محل الماغنسيوم بسلسلة الإنستاتيت-الفيروسيلليت حيث تزداد الزاوية البصرية بزيادة نسبة الفيروسيلليت (Fs). تساوي الزاوية البصرية ٥٤-٩٠° عند Fs_{0-12} (تركيب الانستاتيت)، وتساوي ١٣٠° عند (تركيب البرونزيت والهيبرثين) Fs_{50} وتنخفض مرة أخرى إلى ٩٠° عند Fs_{88} (تركيب الفيروسيلليت). يظهر الإنستاتيت قرينة انكسار مزدوج (٠,٠٠٨) أقل من البيجونيت والأوجيت (٠,٠٢٦ و٠,٠٣٣ على الترتيب). تتفاوت ألوان التداخل ما بين رتبة ثانية في الكلينوبيروكسين إلى ألوان تداخل منخفضة في الأرثوبيروكسين (شكل ٥-١٠).

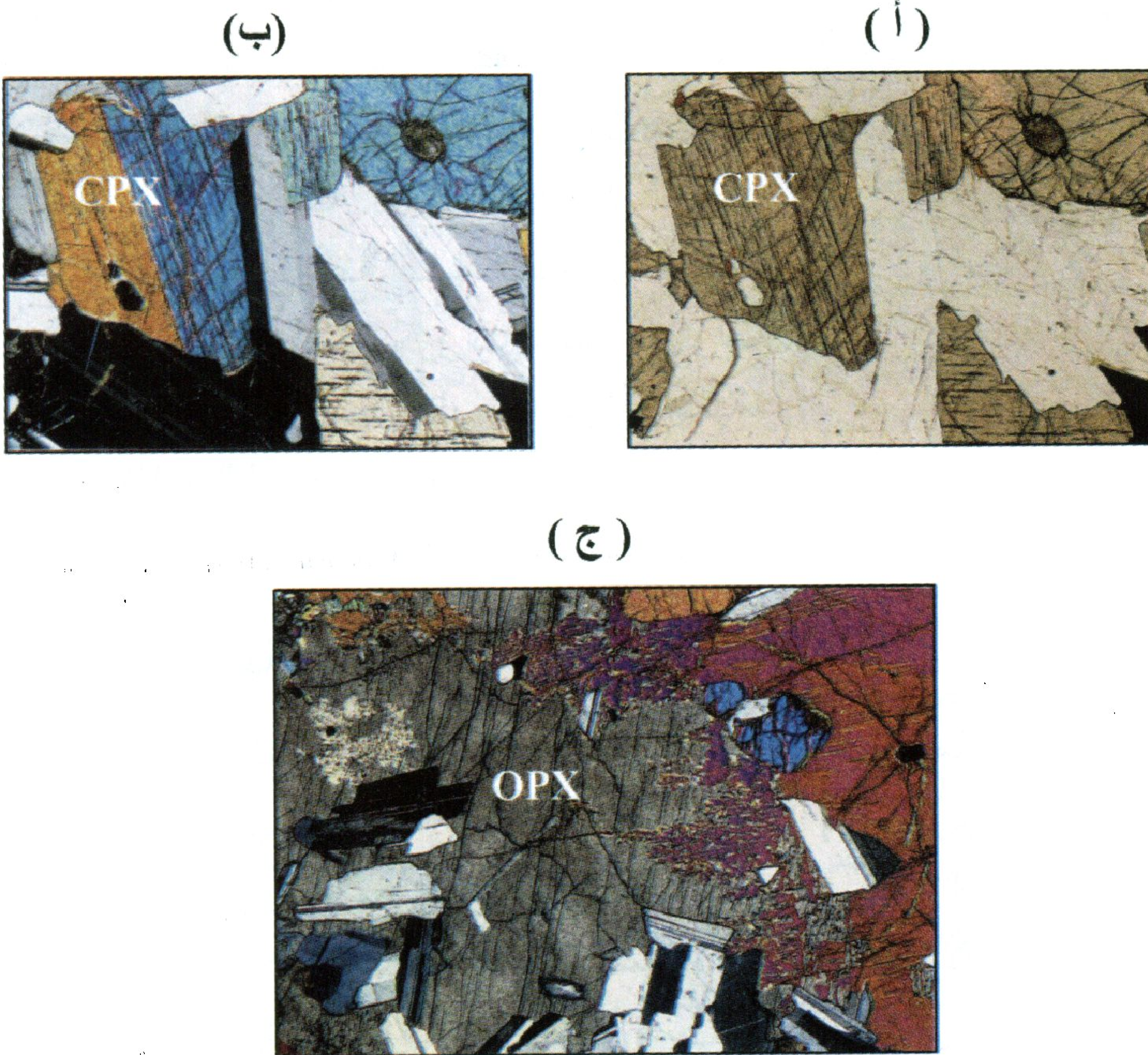


شكل ٥-٩: تغير معاملات الانكسار وقرينة الانكسار المزدوج وزاوية الإنطفاء والزاوية البصرية بتغير المحتوى الحديدي بالموقع M1 بسلسلة الإيجيرين-الإيجيرين أوجيت (لارسين ١٩٤٢ Larsen، سابين ١٩٥٠ Sabine، نولان ١٩٦٩ Nolan، دير وأخرون ١٩٧٨ .Deer et al).

التواجدات والصحبة المعدنية

يتواجد البيروكسين بشكل رئيسى بالصخور النارية الغنية بالحديد والماغنسيوم مثل الجابرو. والبازلت وكذلك بصخور البيريدوتيت. وقد يتواجد أيضاً كمعدن غامق بالصخور النارية المتوسطة مثل الديوريت والأنديزيت.

ويتواجد أيضاً بالصخور المتحولة بسحنات الأمفيبوليت والجرانيوليت (خصوصاً سلسلة الديوبسيد- الهدينبيرجيت).



شكل ٥- ١٠: (أ -ب) بلورة بنية اللون توأمية للكلينوبيروكسين (CPX)، لاحظ ألوان التداخل العالية للكلينوبيروكسين (رتبة ثانية أزرق وبرتقالي) مقارنة بألوان التداخل المنخفضة (رمادي) للأرثوبيروكسين (OPX) بالشكل (ج) .

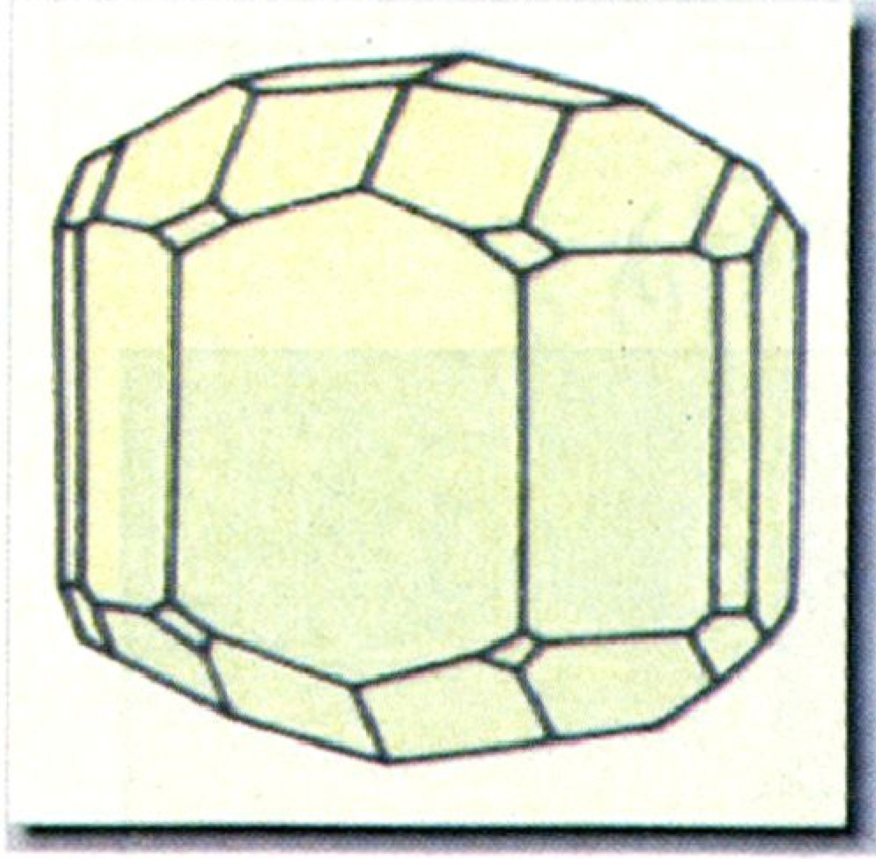
الإنستاتيت Enstatite



$MgSiO_3$

تم تسمية المعدن عام ١٨٥٥م عن الكلمة الإغريقية *enstates* والتى تعنى "خصم أو عدو" ويعكس الاسم مدى مقاومة المعدن للإنصهار.

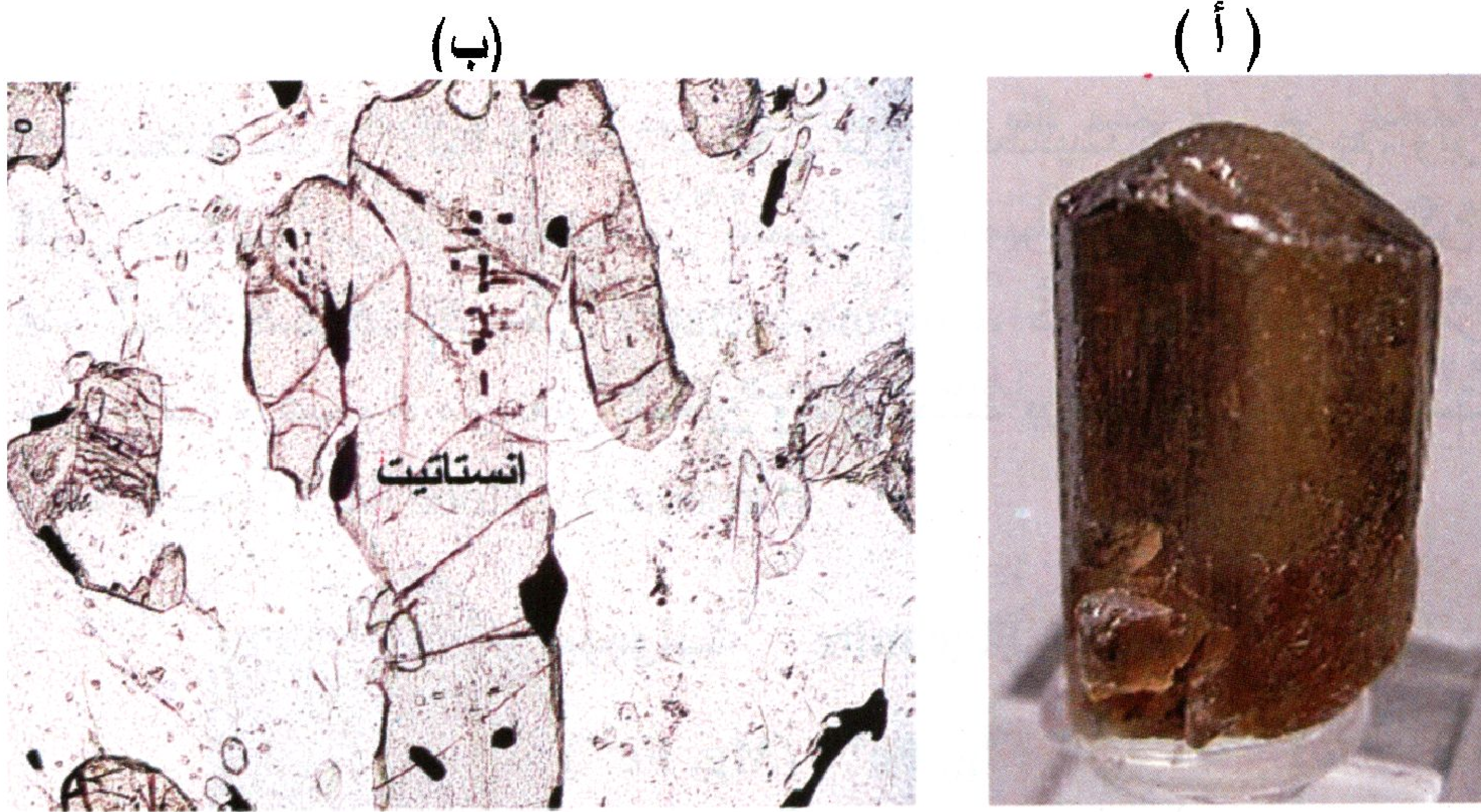
الصفات البلورية



يتبلور الإنستاتيت بفصيلة المعينى القائم وتبلغ أبعاد خلية الوحدة: أ=١٨,٢٢، ب=٨,٨١، ج=٥,٢١ أنجستروم ويساوي عدد الذرات بخلية الوحدة (z)=٤. مجموعة النقطة 2/m2/m2/m والمجموعة الفراغية $P2_1/b2_1/c2_1/a$. يوجد المعدن عادةً على هيئة كتلية، ليفية أو لوحية، ويندر وجوده على شكل بلورات منشورية. رغم أن الإنستاتيت يتكون تحت ظروف حرارة عالية، إلا أن نظامه البلورى قد يتغير من المعينى القائم إلى الميل الواحد ليعطى معدن الكلينوإنستاتيت.

الصفات الفيزيائية والبصرية

عادةً يكون المعدن أبيض اللون أو عديم اللون وأحياناً رمادي أو بني فاتح أو أخضر شاحب (شكل ٥-١١). البريق زجاجي إلى لؤلؤي ولكن العينات المجواه تظهر بريق تحت فلزي. المخدش أبيض. البلورات دائماً نصف شفافة ونادراً ماتكون شفافة. تتراوح الصلادة بين ٥ و ٦ والإنفصام كامل فى إتجاهين بينهم زاوية تقترب من ٩٠°. يصل الوزن النوعى إلى ٣,٢. يبدو الإنستاتيت تحت الميكرسكوب عديم اللون ولكن فى حالة وجود بعض الحديد الذى يحل محل الماغنسيوم، فأنه يظهر تغير لوني وردي إلى أخضر. الإنطفاء موازى بالقطاع المنشورى. يتميز المعدن عن معادن البيروكسين الأخرى بالقيمة المنخفضة نسبياً لقرينة الانكسار المزدوج. المعدن ثنائي المحور موجب وتبلغ معاملات الانكسار ألفا (α)= ١,٦٥- ١,٦٦٨ وبيتا (β)= ١,٦٥٢- ١,٦٧٣ وجاما (γ)= ١,٦٥٩- ١,٦٧٩ وقرينة الانكسار المزدوج (δ)= ٠,٠٠٨ والزاوية البصرية ($2V$) = ٥٤°.



شكل ٥-١١: (أ) بلورة منشورية بنية اللون للإنستاتيت من منطقة كيلوزا بتنزانيا (www.marinmineral.com/africa1.html). (ب) إنستاتيت عديم اللون إلى وردي بصخور النوريت (تحت الضوء المستقطب ، التكبير= ١٠٠ x).

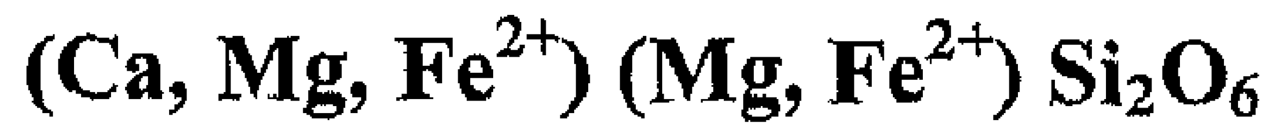
التواجدات والصحبة المعدنية

يتواجد الإنستاتيت بشكل شائع بالصخور النارية المافية والناشئة من صهير فقير فى عنصر الحديد مثل الجابرو والبازلت والنوريت. كما يتواجد المعدن بالصخور المتحولة عالية الدرجة مثل الجرانيوليت. وأحياناً يتكون الإنستاتيت من تجوية أحد معادن الأمفيبول وهو الأنثوفيلليت [$(Mg, Fe)_7Si_6O_{22}(OH)_2$]. ويتواجد الإنستاتيت بصخور النيازك والتى يطلق عليها نيازك الإنستاتيت وتمثل هذه النوعية حوالى ٢% من مجمل النيازك التى تسقط على كوكب الأرض. تحتوى نيازك الإنستاتيت على أنواع اخرى من المعادن مثل أولدهاميت Oldhamite (كبريتيد الكالسيوم) ونينينجيريت Niningerite (كبريتيد الماغنسيوم) والكبريتيدات القلوية. يصاحب الإنستاتيت كل من الأوجيت والفلسبار وأنواع معينة من الجارنت بالصخور النارية والمتحولة. يتواجد المعدن بأماكن عديدة على مستوى العالم منها الولايات المتحدة الأمريكية والهند وبورما وتنزانيا. كما يتواجد الإنستاتيت بصخور النيس بوادي جيثوا Wadi Jithwah بالمملكة العربية السعودية (جدول ٥-٢).

الاستخدامات

تستخدم بعض الأنواع خضراء اللون من الإنستاتيت كحجر كريم. ويرجع اللون الأخضر إلى تواجد نسبة من عنصر الكروميوم ويطلق على المعدن في هذه الحالة إنستاتيت كرومي Chrome-enstatite. كما يطلق اسم البرونزيت على الأنواع المجواه من نفس المعدن والتى تمتلك بريق تحت فلزي وتستخدم أيضاً كأحجار زينة Ornamental stone.

البيجونيت Pigeonite



$(Ca, Mg, Fe^{2+})\ (Mg, Fe^{2+})\ Si_2O_6$

يرجع اسم المعدن إلى أصل مكان تواجده بمنطقة بيجون *"Pigeon Cove"* بولاية مينيسوتا بالولايات المتحدة الأمريكية.

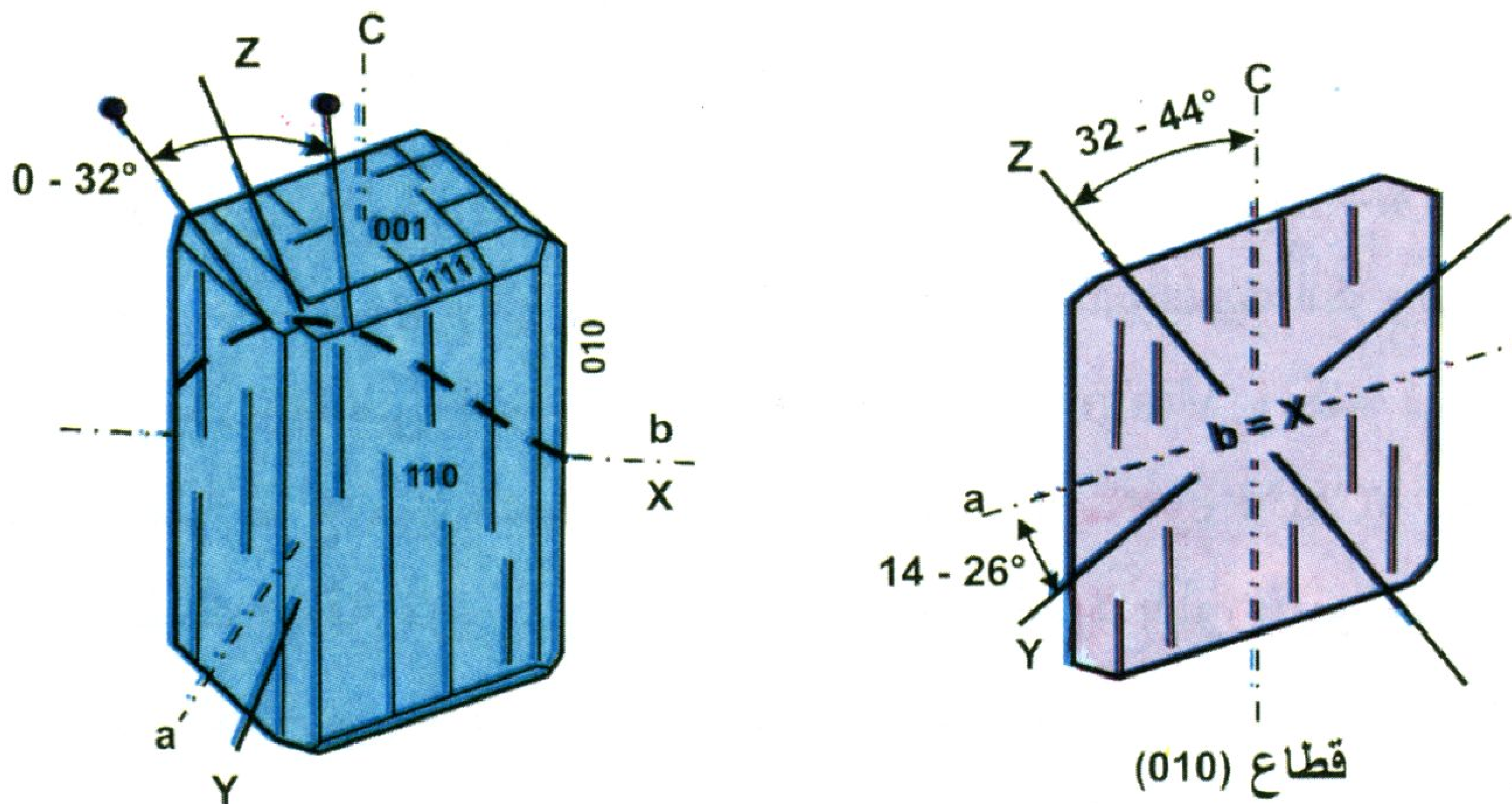
الصفات البلورية

يتبلور المعدن فى فصيلة الميل الواحد وتبلغ أبعاد خلية الوحدة أ= ٩,٧ ، ب= ٨,٩٥ ، ج= ٥,٢٤ أنجستروم (شكل ٥–١٢). تبلغ الزاوية بين المحورية β=١٠٨,٥٩° وتصل نسبة المحاور البلورية أ : ب : ج إلى ١,٠٨٤: ١: ٠,٥٨٥ ومجموع ما تشغله خلية الوحدة من ذرات (Z)=٤. مجموعة النقطة 2/m والمجموعة الفراغية *C2/C*. نادراً ما يوجد المعدن على هيئة بلورات منشورية ولكن غالباً يوجد على هيئة كتلية أو عمدانية أو على هيئة حبيبات صغيرة مصاحباً للأنواع الأخرى من البيروكسين.

الصفات الفيزيائية والبصرية

يتميز المعدن باللون البني والبني المخضر أو اللون الأخضر. البريق زجاجي والمخدش رمادي فاتح إلى غامق. المعدن شفاف إلى نصف شفاف. تصل الصلادة إلى ٦ والإنفصام جيد موازي للمستوى {110}. يتراوح الوزن النوعى بين ٣,١٧ و٣,٤٦. يتشابه البيجونيت مع معادن الكلينوبيروكسين الأخرى تحت الميكرسكوب (مثل الديوبسيد) ولكن يتميز

المعدن بزاوية بصرية أقل. يأخذ المعدن ألوان أخضر وأصفر شاحب وأخضر بني أوعديم اللون بالقطاعات الميكرسكوبية. المعدن ثنائى المحور موجب، حيث ألفا (α)= ١,٦٨٢ –١,٧٣٢ وبيتا (β)= ١,٦٨٤– ١,٧٣٢ وجاما (γ) = ١,٧٠٥ –١,٧٥٧. قرينة الانكسار المزدوج (δ)= ٠,٠٢٣– ٠,٠٢٩ والزاوية البصرية ($2V$)= صفر– ٣٢°.



شكل ٥–١٢: العلاقة بين المحاور البلورية (a, b, c) ومحاور مجسم معامل الإنكسار (X, Y , Z) فى بلورة لمعدن البيجونيت.

التواجدات والصحبة المعدنية

ينحصر وجود البيجونيت بالصخور النارية البركانية التى تعرضت لعمليات تبريد سريعة، ولكن فى حالة التبريد البطئ فأنه يتحول إلى نوع أخر من أنواع البيروكسين (أوجيت أو كلينوبيروكسين) عند درجات الحرارة المنخفضة. كما يتواجد المعدن بالصخور المتحولة وصخور النيازك. يتواجد البيجونيت بأماكن عديدة بالعالم منها: الولايات المتحدة الأمريكية حيث تم إكتشافه كما ذكر عام ١٩٠٠ بمنطقة بيجون بولاية مينيسوتا وأماكن أخرى مثل منطقة كوبالت بولاية أونتاريو بكندا وتداخلات سكيرجارد Skaergaard intrusion بجرينلاند ومعقد بشفيلد Bushfeld Complex بجنوب أفريقيا وبركان هاكونى Hakone Volcano باليابان وأردنامورشان وأرجيلشاير

بإسكتلندا Ardnamurchan and Argyllshire ومنطقة فوجيلزبرج وهيسي Vogelsberg, Hesse بألمانيا.

ديوبسيد Diopside



$CaMg(Si_2O_6)$

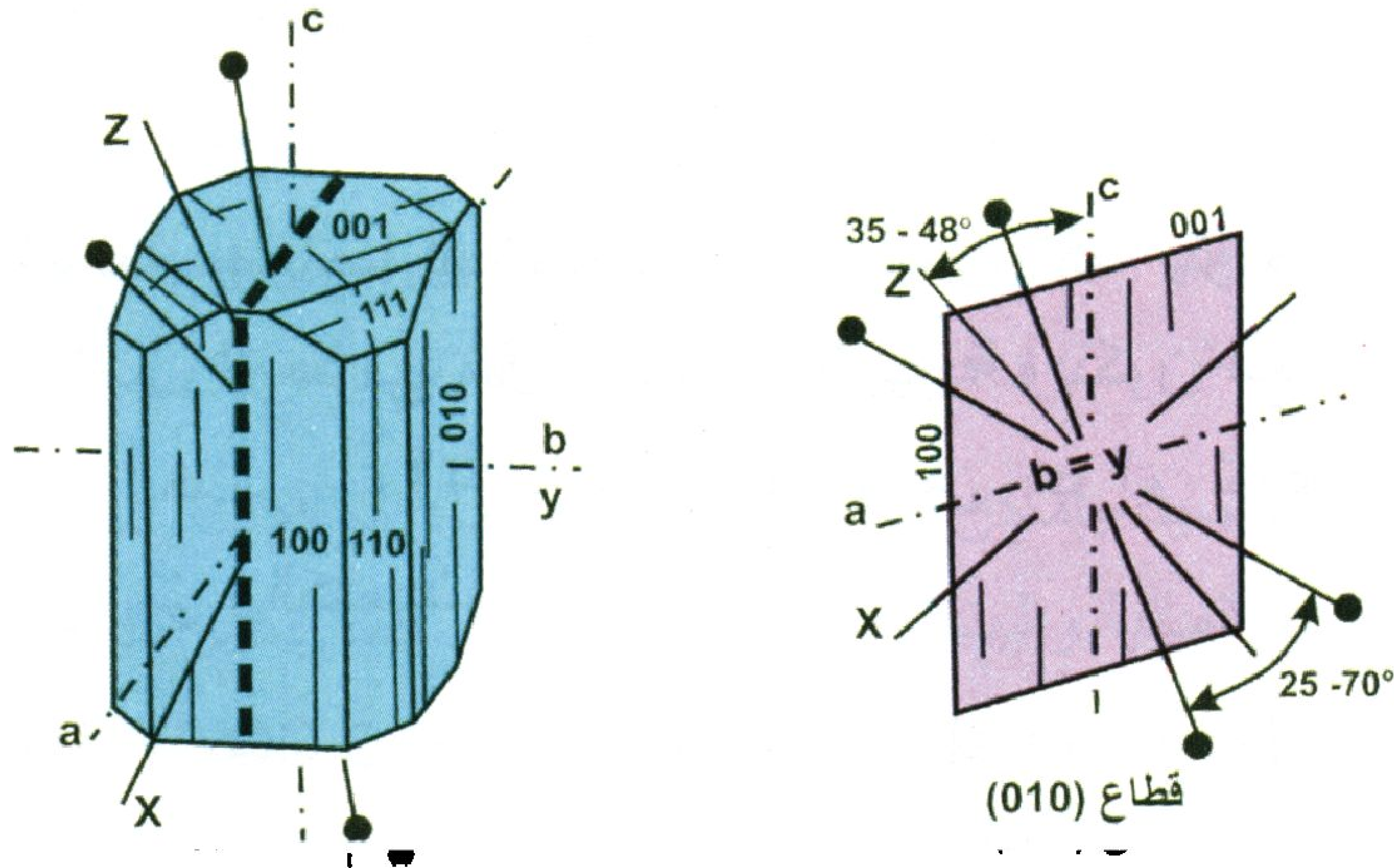
يرجع اسم المعدن إلى الكلمة الإغريقية *dis* والتي تعني "أثنين" وكلمة *Opsis* والتي تعني "مظهر" وذلك لما يظهره المعدن من مظهرين مختلفين عند النظر إلى هيئته المنشورية. هناك العديد من أنواع الديوبسيد، يسمى النوع الغني بالكروميوم ذو اللون الأخضر باسم الديوبسيد الكرومي ويستخدم كحجر كريم. ويسمى النوع الأزرق بالفيولون Violon ولكنه نادر الوجود. وهناك أيضاً نوع من الديوبسيد يسمي عين الهر Cat's eye، يحتوى عادةً على مكتنفات دقيقة من الروتيل، وهناك نوع أسود اللون يتواجد به الروتيل على شكل نجمة من أربع أضلع ويسمى ديوبسيد نجمي Star diopside. هذا بالإضافة إلى نوع الديوبسيد العادى والذى يتميز باللون الأبيض والبريق الزجاجي.

الصفات البلورية

يتبلور الديوبسيد بفصيلة الميل الواحد حيث تبلغ أبعاد الخلية: أ= ٩,٧٦، ب= ٨,٩٢، ج= ٥,٢٥ أنجستروم (شكل ٥-١٣) وتبلغ النسبة بين المحاور البلورية أ:ب:ج= ١,٠٩٤: ١: ٠,٥٨٩، وعدد ما تمتلكه خلية الوحدة من ذرات (Z) =٤، مجموعة النقطة 2/m والمجموعة الفراغية C2/C. يتواجد الديوبسيد على هيئة منشورية وكتلية وعمدانية أو حبيبات دقيقة، كما توجد البلورات أحياناً على هيئة توأمية.

الصفات الفيزيائية والبصرية

يتغير لون معدن الديوبسيد من الأبيض إلى الأخضر الشاحب (شكل ٥-١٤) أو البني المخضر أو المصفر. البريق زجاجي والمخدش أبيض إلى أبيض رمادى. المعدن شفاف إلى نصف شفاف. الصلادة تتراوح مابين ٥,٥



شكل ٥-١٣: العلاقة بين المحاور البلورية (a, b, c) ومحاور مجسم معامل الإنكسار (X, Y , Z) فى بلورة لمعدن الديوبسيد.

إلى ٦,٥ والإنفصام كامل فى إتجاهين بينهما زاوية تقترب من ٩٠°. الوزن النوعى حوالى ٣,٣. يظهر الديوبسيد بالقطاعات الرقيقة عديم اللون في حالة خلوه من أى نسبة حديد ولكن يتغير لونه إلى الأخضر أو البني مع زيادة نسبة الحديد. يتميز الديوبسيد عن معادن الأرثوبيروكسين بقرينة الانكسار المزدوج العالية وكذلك الإنطفاء المائل. المعدن ثنائى المحور (موجب)، ألفا (α)= ١,٦٦٣ -١,٦٩٩ وبيتا (β)= ١,٦٧١- ١,٧٠٥ وجاما (γ)= ١,٦٩٣- ١,٧٢٨ وقرينة الانكسار المزدوج (δ)= ٠,٠٣٠ والزاوية البصرية ($2V$)= ٢٥°- ٧٠°.

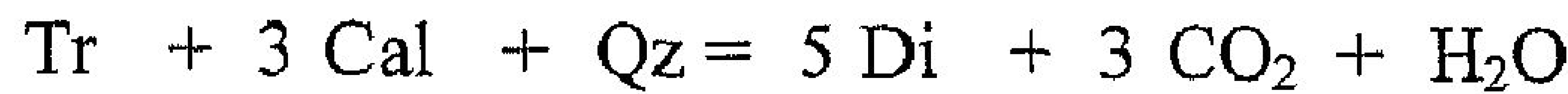


شكل ٥-١٤: بلورات منشورية خضراء اللون للديوبسيد.

www.minedirect.com/FacetCabRough/Diopside.html

التواجدات والصحبة المعدنية

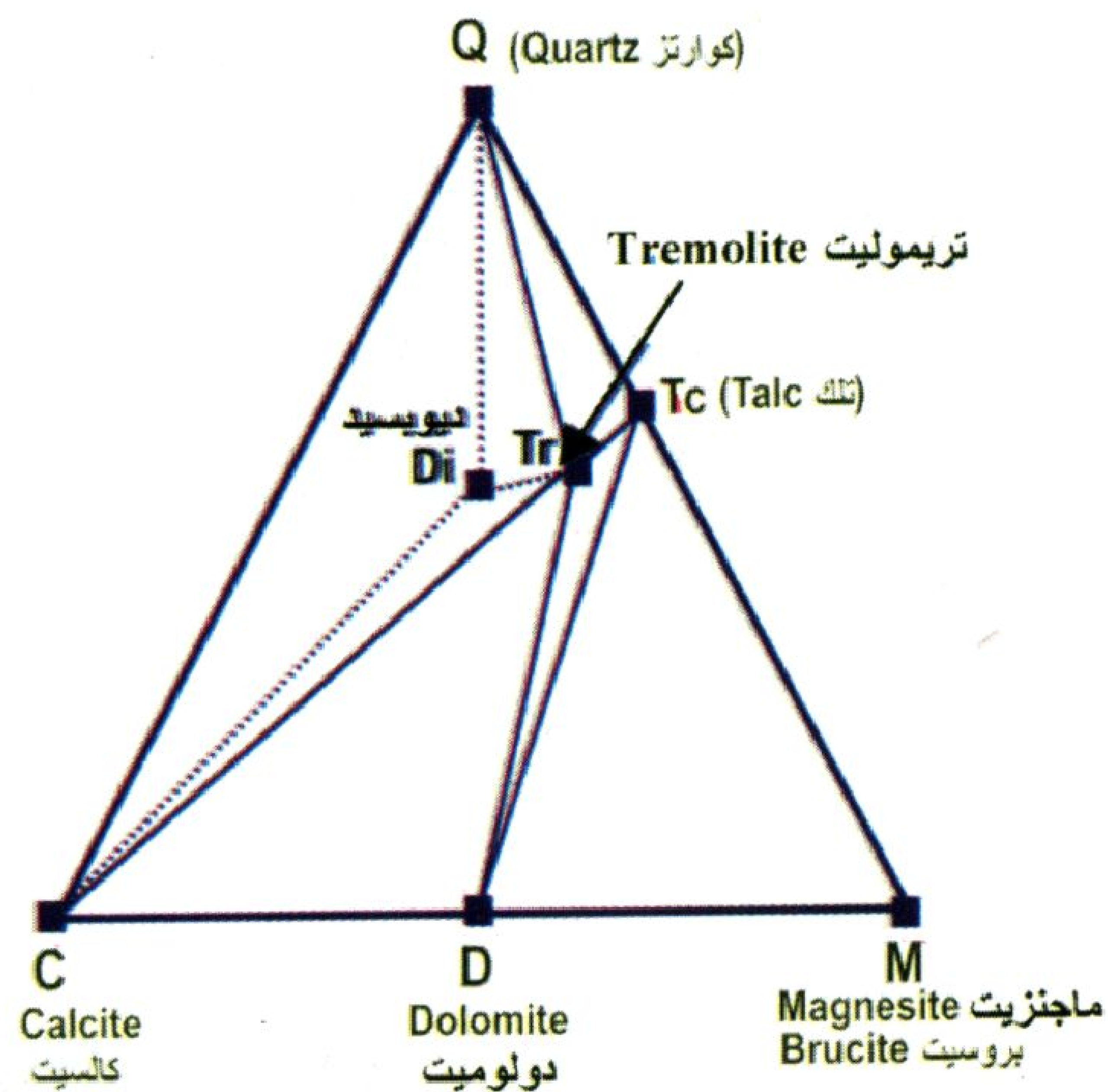
يعتبر الديوبسيد أكثر معادن البيروكسين شيوعاً، فهو يتواجد بالصخور المافية وفوق المافية مصاحباً للبلاجيوكليز والأوليفين. كما يتواجد بالصخور المتحولة ذات الأصل الرسوبى مثل الصخور الجيرية ويتكون مع بداية سحنة الأمفيبوليت (عند حوالي ٥٢٠ درجة مئوية) من جراء تفاعل كل من التريموليت والكوارتز والكالسيت:



$$Tr + 3\,Cal + Qz = 5\,Di + 3\,CO_2 + H_2O$$

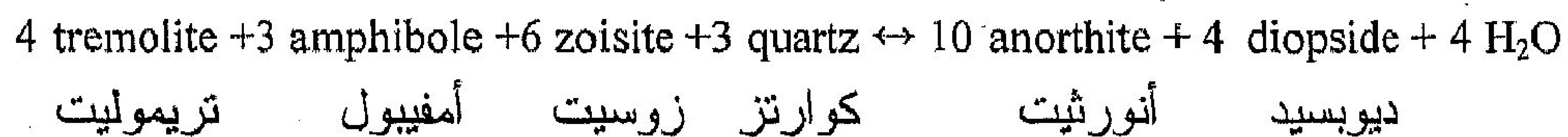
تريموليت كالسيت كوارتز ديوبسيد

ومن المعادن المصاحبة: الكالسيت والكوارتز والفورستريت والتريموليت والسكابوليت والجارنت (شكل ٥-١٥).



شكل ٥-١٥ : الصحبة المعدنية المتكونة من تحول الصخور الجيرية عند ٥٢٠ درجة مئوية (الفيلالي ٢٠٠٥).

كما يتواجد الديوبسيد بالصخور المافية المتحولة ويتكون عند ٦٥٠ درجة مئوية (سحنة الأمفيبوليت العليا) حسب التفاعل:

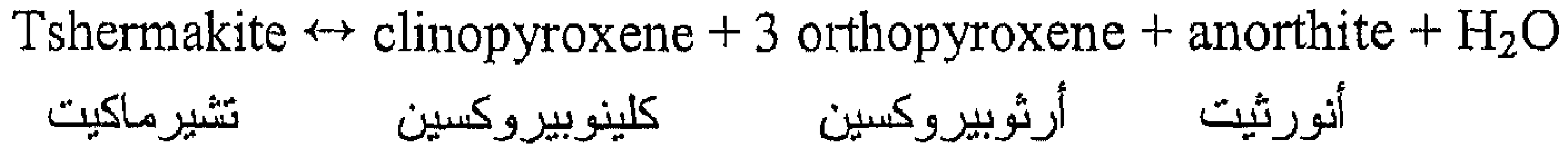


4 tremolite +3 amphibole +6 zoisite +3 quartz $\leftrightarrow$ 10 anorthite + 4 diopside + 4 H_2O

تريموليت أمفيبول زوسيت كوارتز أنورثيت ديوبسيد

ومع الإنتقال من سحنة الأمفيبوليت العليا إلى الجرانيوليت (٦٥٠ - ٨٠٠ درجة مئوية وضغط ٦ - ٧ كيلو بار)، يتكّون نوعي البيروكسين

(الأرثوبيروكسين والكلينوبيروكسين) على حساب الأمفيبول (تـــشيرماكيت) حسب التفاعل:



Tshermakite ↔ clinopyroxene + 3 orthopyroxene + anorthite + H_2O

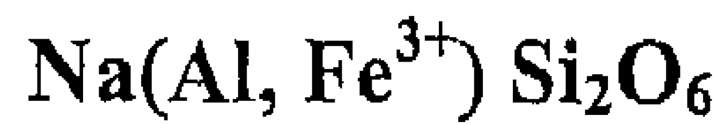
أنورثيت أرثوبيروكسين كلينوبيروكسين تشيرماكيت

يتواجد الديوبسيد بأماكن عديدة بالعالم، منها: الولايات المتحدة الأمريكية والسويد وكندا وألمانيا والهند وروسيا وسويسرا. كما ينتشر المعدن بالصخور المتحولة بالدرع العربي النوبي مثل منطقة خميس مشيط بالمملكة العربية السعودية ومناطق عدة بجمهورية مصر العربية مثل وادي حيمور وجبل حفافيت.

الاستخدامات

تستخدم الأنواع الغنية بالكروميوم كحجر كريم والذى يستخرج بكميات كبيرة من منطقة سيبيران بروسيا Siberran. ولكن لا يوجد له استخدام أخر بالصناعة.

Aegirine الإيجيرين



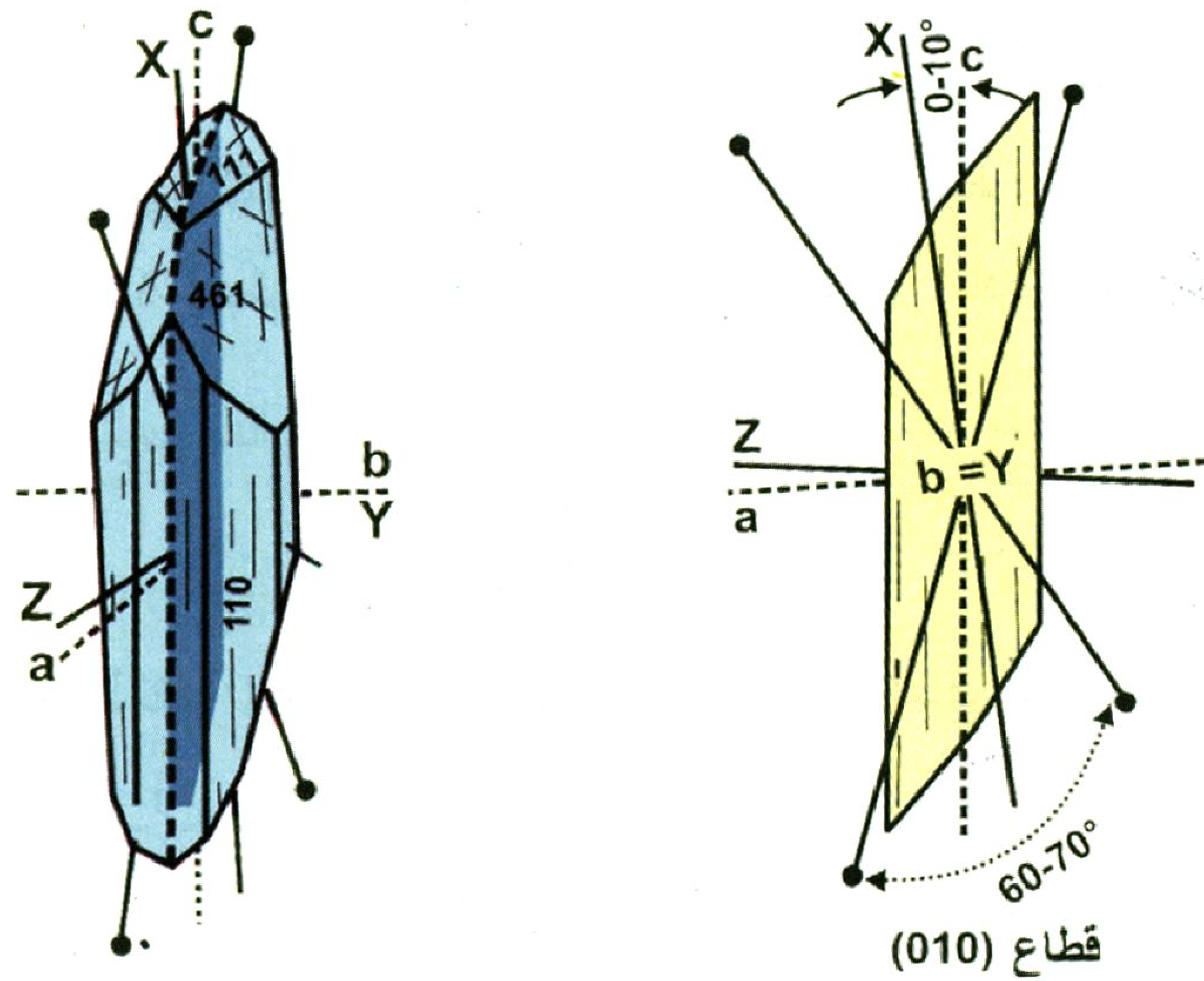
$Na(Al, Fe^{3+}) Si_2O_6$

يعود اسم المعدن إلى الكلمة الإغريقية *Aegir* والتي تعنى الإله التيوتونى للبحر Teutonic God of the Sea، وقد أطلق عليه هذا الاسم عند إكتشافه بالنرويج. يطلق على هذا المعدن أيضاً اسم أكميت Acmite والذي يأتى من كلمة يونانية بمعنى نقطة.

الصفات البلورية

يصعب تمييز الإيجيرين عن قرينه معدن الأوجيت، ولكن يتميز الإيجيرين فى بعض الأحيان بالهيئة الهرمية الحادة. يتبلور المعدن بفصيلة الميل الواحد، حيث تبلغ أبعاد خلية الوحدة: أ= ٩,٧، ب= ٨,٨، ج= ٥,٣ أنجستروم. النسبة بين المحاور البلورية ا: ب: ج= ١,٠٩٧٨: ١: ٠,٦٠١٨.

مجموع ما تمتلكه خلية الوحدة من ذرات (Z) = ٤، الزاوية بيتا (β)= ١٠٥°– ١٠٧°، مجموعة النقطة 2/m والمجموعة الفراغية *C2/C*. توجد البلورات على هيئة منشورية مستطيلة (شكل ٥–١٦) منتهية بهرم غير متماثل وحاد الزاوية. كما يوجد المعدن على هيئة حبيبات صغيرة وكتلية وليفية وشعاعية وإبرية (شكل ٥–١٧).

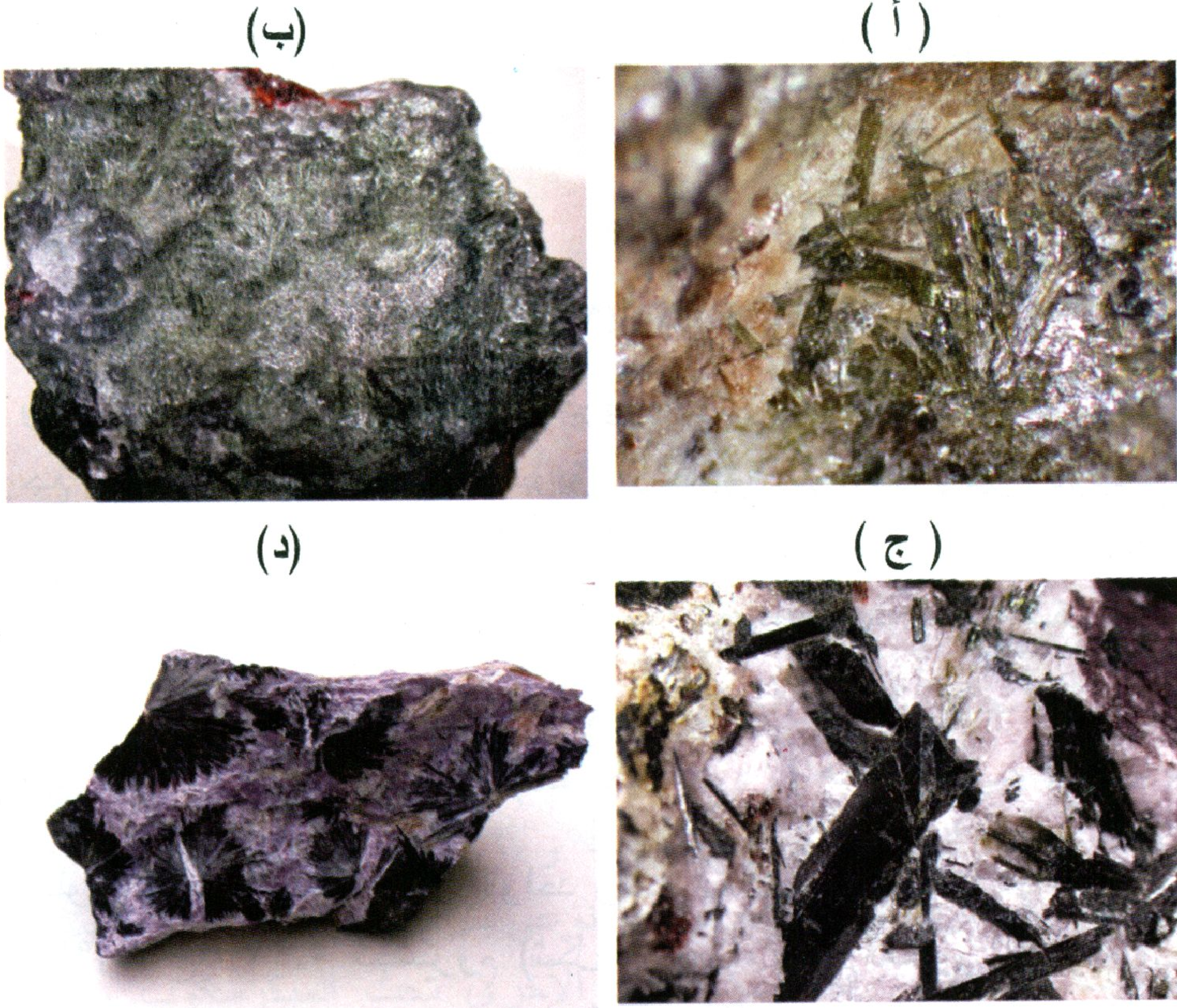


شكل ٥–١٦: العلاقة بين المحاور البلورية (a, b, c) ومحاور مجسم معامل الإنكسار (X, Y , Z) فى بلورة لمعدن الإيجيرين.

الصفات الفيزيائية والبصرية

اللون أسود إلى أسود بني أو أخضر غامق (شكل ٥–١٧). البريق زجاجى والمخدش أبيض أو رمادى. المعدن نصف شفاف إلى معتم. الصلادة= ٦– ٦,٥ والإنفصام كامل فى إتجاهين بينهما زاوية تقترب من ٩٠°. الوزن النوعى= ٣,٥– ٣,٦. تحت الميكرسكوب، اللون أخضر داكن إلى شاحب أو أخضر مصفر وتزداد درجة الغمقان مع زيادة نسبة الحديد، كما يتميز المعدن بالتضاريس العالية الموجبة. تزداد معاملات الانكسار وقرينة الانكسار المزدوج مع زيادة نسبة الحديد (انظر شكل ٥–٩). العينات التى يتراوح محتوى الحديد الثلاثى فيها من ٤٠ إلى ٤٥% تكون سالبة

بصرياً، بينما تكون الأنواع الأقل في نسبة الحديد الثلاثي موجبة بصرياً. تبلغ معاملات الانكسار: ألفا (α)= ١,٧٠٠- ١,٧٧٦ وبيتا (β)= ١,٧١٠-١,٨٢٠ وجاما (γ)= ١,٧٣٠-١,٨٣٦ وقرينة الانكسار المزدوج (δ)= ٠,٠٢٨-٠,٠٦٠ والزاوية البصرية ($2V$) = ٦٠-٧٠°.



شكل ٥-١٧: بلورات خضراء اللون إلى أخضر قاتم من الإيجيرين على هيئات مختلفة (أ) إبرية، (ب) كتلية، (ج) منشورية، (د) شعاعية. maurice.strahlen.org/minerals/aegirine.htm.

التواجدات والصحبة المعدنية

يتواجد الإيجيرين مع الأوجيت في الصخور النارية الغنية بالقلويات مثل الصوديوم والبوتاسيوم، وخصوصاً بصخور الجرانيت القلوية والسيانيت والسيانيت النيفيليني والفونوليت. وينحصر وجود المعدن بالصخور المتحولة

فى سحنة الشيست الأزرق. من المعادن المصاحبة: الأوجيت والنيفيلين والأندراديت والباريت والكوارتز والريبيكيت والبيوتيت والصوداليت والألبيت. من أهم أماكن تواجده: منطقة مونت سانت–هيلير Mont Saint-Hilair وكيوبيك Quebec بكندا وكونجسبرج Kongsberg بالنرويج ونارسارسوك Narsarssuk بجرينلاند وجزيرة كولا Kola Peninsula بروسيا وماجنيت كوف أركنساس Magnet Cove Arkansas بالولايات المتحدة الأمريكية وأيضاً فى كينيا ونيجيريا.

الأوجيت Augite

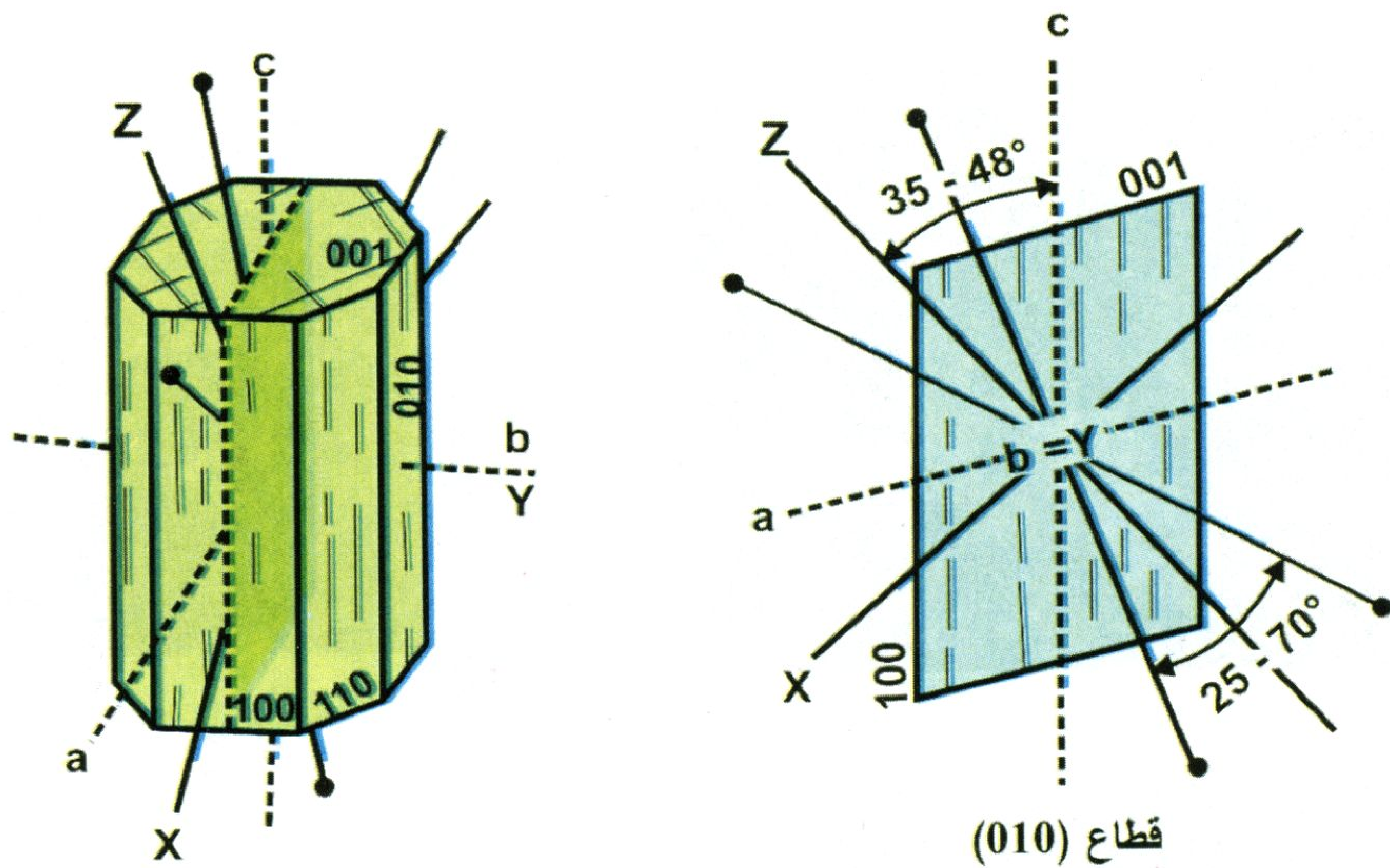


$$(Ca,Mg,Fe,Na)(Mg,Fe,Al)(Al,Si)_2O_6$$

يأتى اسم المعذن من الكلمة الإغريقية *augites* والتى تعنى مضىء ويرجع ذلك إلى الشكل المضىء والبريق الزجاجي للأوجيت. يعتبر الأوجيت من أكثر معادن البيروكسين إنتشاراً. يمثل الأوجيت المعدن الوسط لسلسلة محلول صلب يمثل طرفيها معدنى الديوبسيد والهيدينبرجيت (انظر شكل ٥–٣).

الصفات البلورية

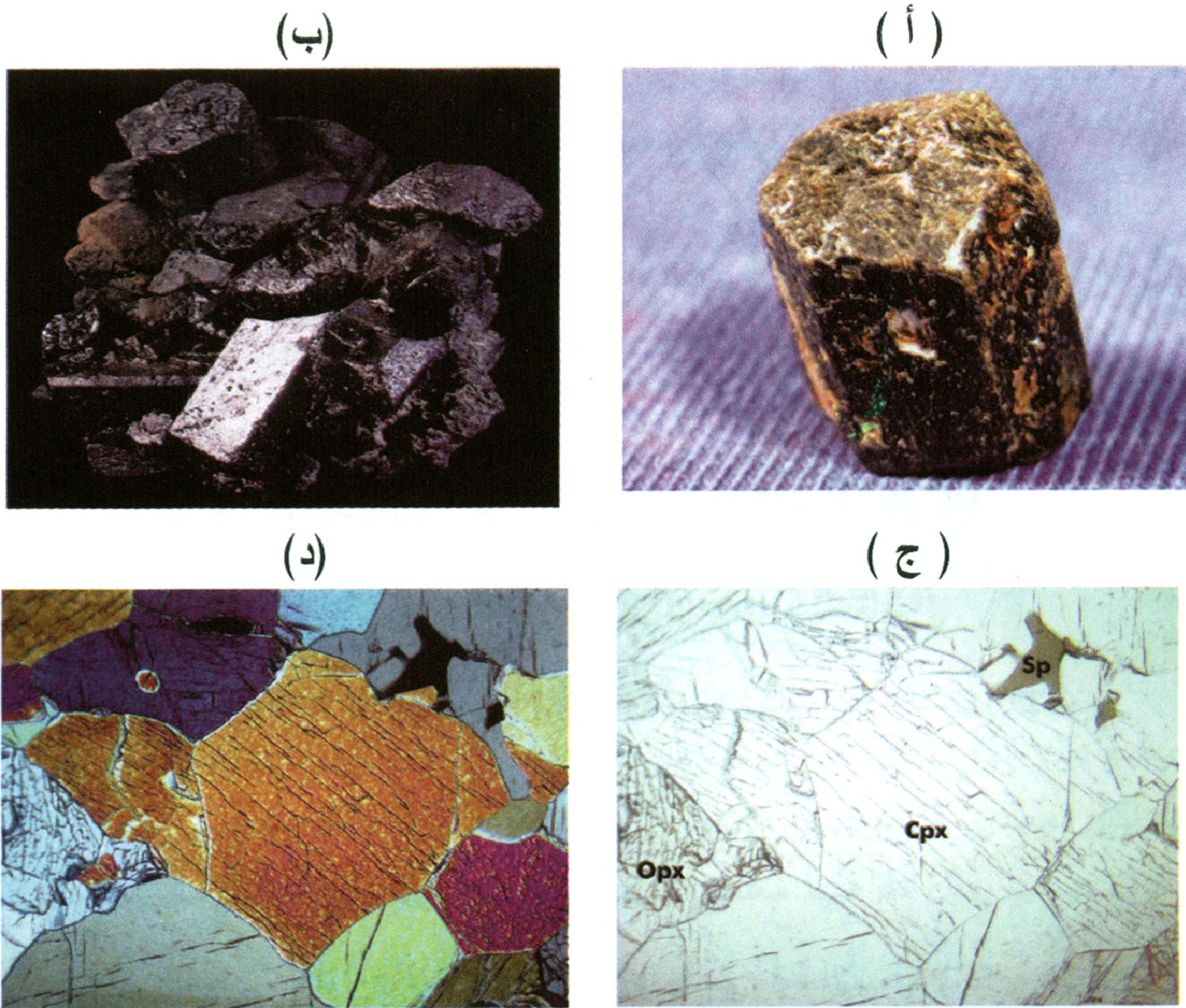
يتبلور المعدن بفصيلة الميل الواحد وتبلغ أبعاد خلية الوحدة: أ= ٩,٧٨، ب= ٨,٩٦، ج= ٥,٢٧ أنجستروم (شكل ٥–١٨)، نسبة المحاور البلورية أ: ب: ج= ١,٠٩٢ : ١: ٠,٥٨٨ والزاوية بيتا (β)= ١٠٥,٧١°. مجموع ما تمتلكه خلية الوحدة من ذرات (Z) =٤، مجموعة النقطة 2/m والمجموعة الفراغية *C2/C*. يوجد المعدن على هيئة بلورات منشورية قصيرة ونادراً على شكل بلورات صفائحية ، كما توجد البلورات على هيئة كتلية وعمدانية وليفية أو على هيئة حُبيبات.



شكل ٥-١٨: العلاقة بين المحاور البلورية (a, b, c) ومحاور مجسم معامل الإنكسار (X, Y, Z) فى بلورة لمعدن الأوجيت.

الصفات الفيزيائية والبصرية

يتميز المعدن باللون الأخضر القاتم أو البنى أو الأسود (شكل ٥-١٩). البريق زجاجى إلى شبه فلزي وأحياناً قاتم. المخدش بني مخضر. المعدن نصف شفاف. الصلادة تتراوح بين ٥ و ٦. الإنفصام كامل فى إتجاهين بينهما زاوية تقترب من ٩٠°. الوزن النوعي يتراوح بين ٣,٢ و٣,٦. يتشابه الأوجيت مع معادن الكلينوبيروكسين الأخرى تحت الميكرسكوب ويُظهر درجات متفاوتة من اللون البني الفاتح إلي البني المصفر أو الأخضر. كما يُظهر الأوجيت تغير لوني ضعيف. يمكن تمييز الأوجيت عن الأنواع الأخرى من معادن الكلينوبيروكسين عن طريق زاوية الإنطفاء (حوالى ٤٥°) والعلامة البصرية (ثنائى المجور موجب) وكذلك مقدار الزاوية البصرية ($2V$) والتي تساوى ٢٥°- ٧٠°. وتبلغ معاملات الانكسار فى الأوجيت: ألفا (α)= ١,٦٧١-١,٧٣٥ وبيتا (β)= ١,٦٧٢-١,٧٤١ وجاما (γ)= ١,٧٠٣-١,٧٦١ وقرينة الانكسار المزدوج (δ)= ٠,٠٣٠



شكل ٥-١٩: بلورات منشورية من الأوجيت خضراء اللون (أ) وسوداء اللون (ب). (ج-د) صورة ميكروسكوبية للأوجيت (Cpx) مع صحبه من السبينيل (Sp) والأورثوبيروكسين (Opx) بصخور البيريدوتيت بنيومكسيكو (www.und.nodak.edu/.../opticalmin/cpx.htm). لاحظ الإختلاف في التضاريس وألوان التداخل بين نوعي البيروكسين.

التواجدات والصحبة المعدنية

يكثر وجود الأوجيت بصخور الجابرو والصخور فوق المافية. كما يوجد أيضاً كحبيبات كبيرة بصخور البازلت. ويوجد أيضاً بالصخور المتحولة عالية الدرجة مثل الجرانيوليت والنيس. ومن المعادن المصاحبة: الأرثوكليز والسانيدين واللابرادوريت والأوليفين والأمفيبول ومعادن البيروكسين الأخرى. ينتشر المعدن بمناطق مختلفة من العالم وهناك بعض الأمثلة التى تم دراستها تفصيلياً، مثل: منطقة أريندال Arendal بالنرويج، مناطق

فسويفيوس وكامبنيا وفراسكاتي بإيطاليا Vesuvius, Campania, Frascati ومنطقة ليشارزيه Laacher See بألمانيا وأونتاريو وكيوبيك بكندا ومنطقة فرانكلين وسترينم هيل بالولايات المتحدة الأمريكية ومقاطعة جيلجيت بباكستان Gilgit ومنطقة أتكانجان بالهند At kangan.

مجموعة البيروكسينويد

Pyroxenoid Group

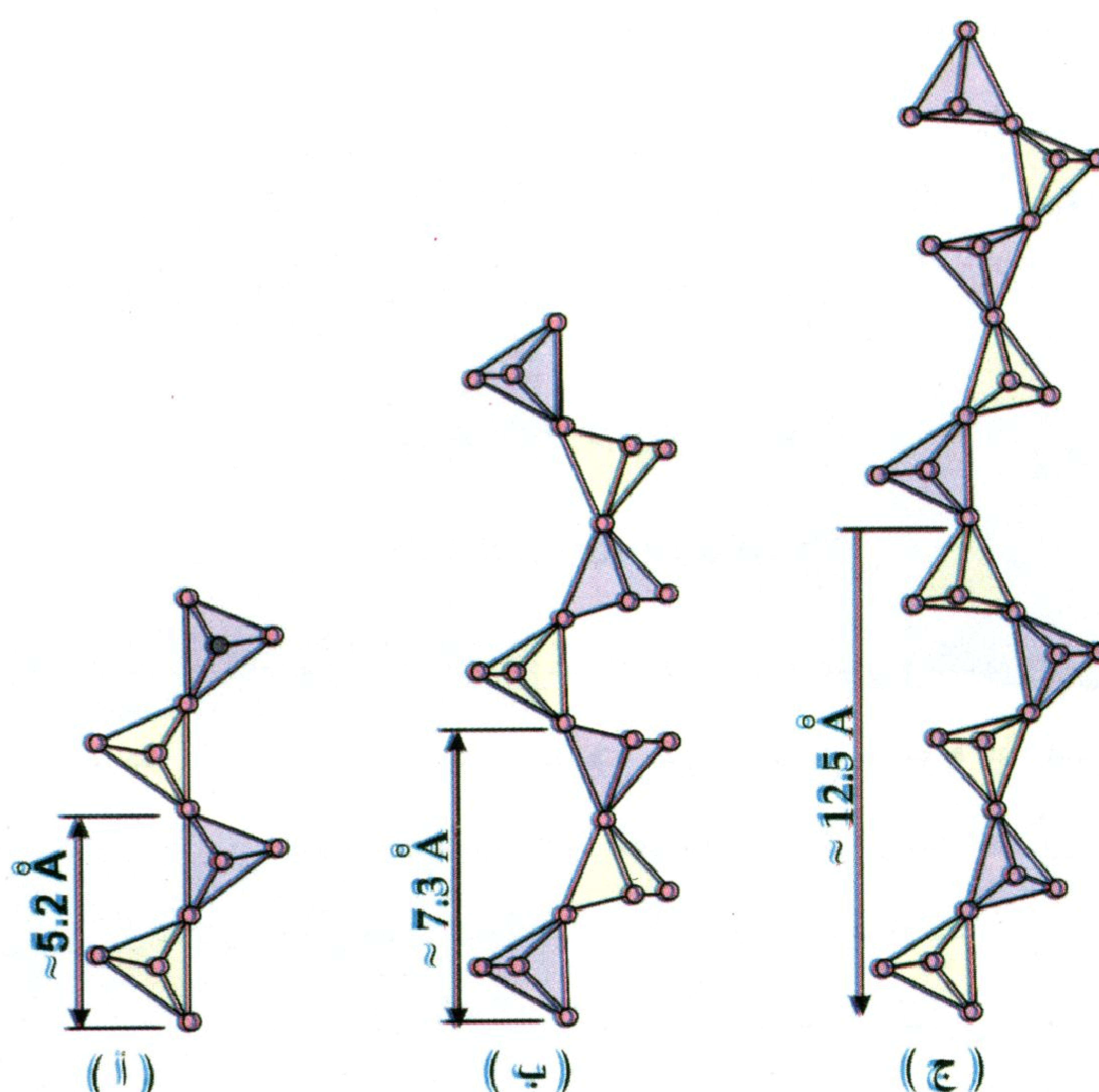
تختلف مجموعة معادن البيروكسينويد عن البيروكسين في وضع سلسلة رباعيات الأوجه السيليكاتية والتي توجد في وضع مشوه أو ملتوي (شكل ٥-٢٠). في حالة البيروكسين، نجد أن المسافة التكرارية خلال السلسلة تتكون من إثنين من رباعي الأوجه السيليكاتي (مسافة بينية حوالي ٥,٢ أنجستروم) (شكل ٥-٢٠ أ). بينما في حالة البيروكسينويد، تتكون المسافة التكرارية خلال السلسلة من ثلاثة أو أكثر من رباعيات الأوجه السيليكاتية (مسافة بينية حوالي ٧,٣ و ١٢,٥ أنجستروم على التوالي) (شكل ٥-٢٠ ب،ج). من ناحية أخرى، تتشابه مواقع الكاتيونات بتناسق ثماني الأوجه في كل من المجموعتين.

تتكون مجموعة البيروكسينويد من عدة معادن تحمل الصيغة الكيميائية العامة $XSiO_3$، حيث تمثل X كاتيونات ثنائية التكافؤ وذات نصف قطر أيوني كبير مثل الكالسيوم والمنجنيز والحديد الثنائي. ومن معادن البيروكسينويد المعروفة والتي سنتناول وصفها في الفقرات القادمة:

الولاستونيت Wollastonite $CaSiO_3$

الرودونيت Rhodonite $MnSiO_3$

البيكتوليت Pectolite $NaCa_2(SiO_3)H$



شكل ٥-٢٠: سلسلة رباعيات الأوجه السيليكاتية (أ) البيروكسين، (ب-ج) البيروكسينويد (نيسي ٢٠٠٠ Nesse).

الولاستونيت Wollastonite



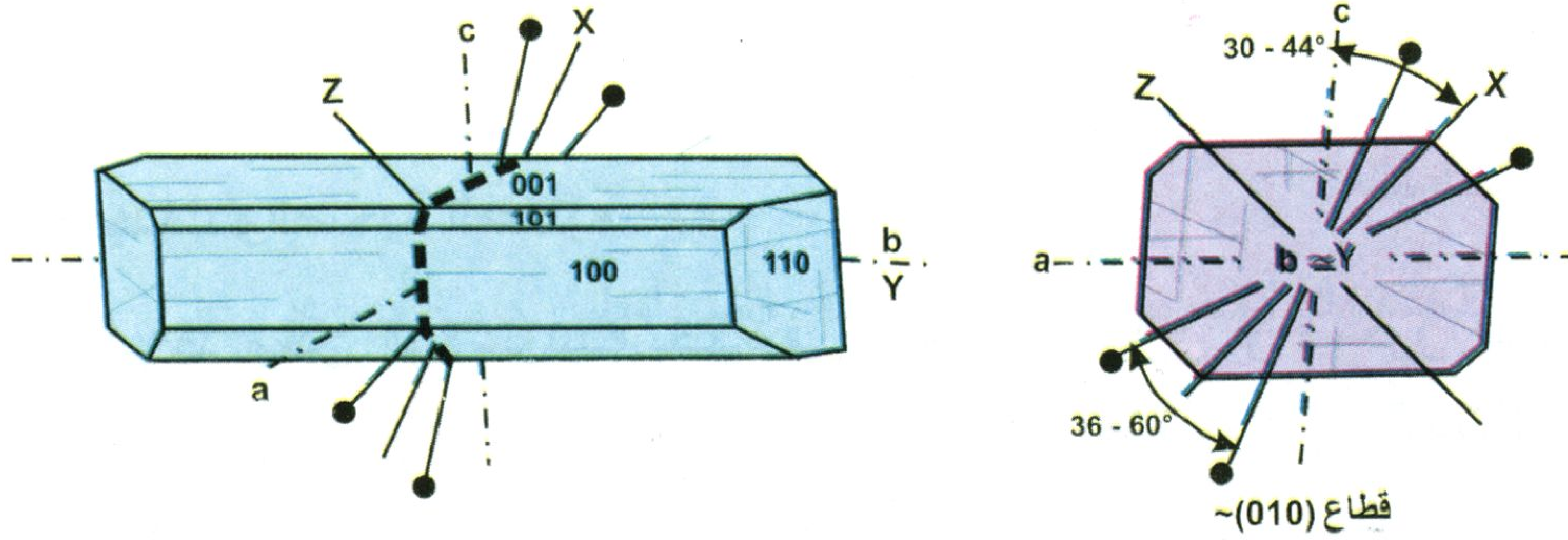
$CaSiO_3$

يأتى الاسم تكريماً لأحد باحثي علم المعادن البريطانيين والذى يدعى وليم ولاستون William Wollaston (١٧٦٦- ١٨٢٨م) والذى أكتشف عنصري البلاديوم Palladium والروديوم Rhodium، كما إخترع مقياس الزوايا بين الوجهية فى البلورات Reflecting Goniometer وكاميرا لوسيدا Lucida.

الصفات البلورية

يتبلور المعدن بفصيلة الميول الثلاثة وتبلغ أبعاد خلية الوحدة: أ= ٧,٩٤، ب= ٧,٣٢، ج= ٧,٠٧ أنجستروم (شكل ٥-٢١). نسبة أطوال المحاور البلورية أ: ب: ج= ١,٠٨٤٦: ١: ٠,٩٦٥٨. مجموع ما تمتلكه خلية الوحدة من ذرات (Z)=٤، وتبلغ الزوايا بين المحورية α= ٩٠,٠٣٣° وβ=٩٥,٣٦٧°

وγ= ١٠٣,٤٣٣°، مجموعة النقطة $\bar{1}$ والمجموعة الفراغية $p\bar{1}$. يوجد الولاستونيت على هيئة صفائحية ولكن يكثر وجوده على هيئة كتلية وشعاعية وليفية وأيضاً على شكل حبيبات.



شكل ٥-٢١: العلاقة مابين المحاور البلورية (a, b , c) ومحاور مجسم معامل الإنكسار (X, Y , Z) فى بلورة لمعدن الولاستونيت.

كيميائية المعدن

يتكون الولاستونيت من سيليكات الكالسيوم بنسبة ١٠٠% (انظر شكل ٥-٣) ولكنه قد يحتوى على كميات ضئيلة من الألومنيوم والحديد والماغنسيوم والمنجنيز والبوتاسيوم والصوديوم.

الصفات الفيزيائية والبصرية



شكل ٥-٢٢: ولاستونيت أبيض اللون.

اللون أبيض أو عديم اللون (شكل ٥-٢٢) أو رمادي. البريق زجاجى إلى لؤلؤى في مستويات الإنفصام. المخدش أبيض. غالباً ماتكون البلورات نصف شفافة ونادراً ما تكون شفافة. تتراوح الصلادة بين ٥ و ٥,٥. الإنفصام كامل فى إتجاهين بينهما زاوية تقترب من ٩٠°. كما يوجد مستوى ثالث ضعيف للإنفصام {201}. الوزن النوعى بين ٢,٨ و ٢,٩.

يتميز الولاستونيت تحت الميكرسكوب بصفاء اللون وقرينة الانكسار المزدوج المنخفضة والإنطفاء الموازي. المعدن ثنائي المحور سالب وتبلغ معاملات الانكسار ألفا (α)= ١,٦١٥ –١,٦٤٦ وبيتا (β)= ١,٦٢٧ –١,٦٥٩ وجاما (γ)= ١,٦٢٩ –١,٦٦٢ وقرينة الانكسار المزدوج (δ) = ٠,٠١٤٠– ٠,٠١٦٠ والزاوية البصرية ($2V$)= ٣٦–٦٠°.

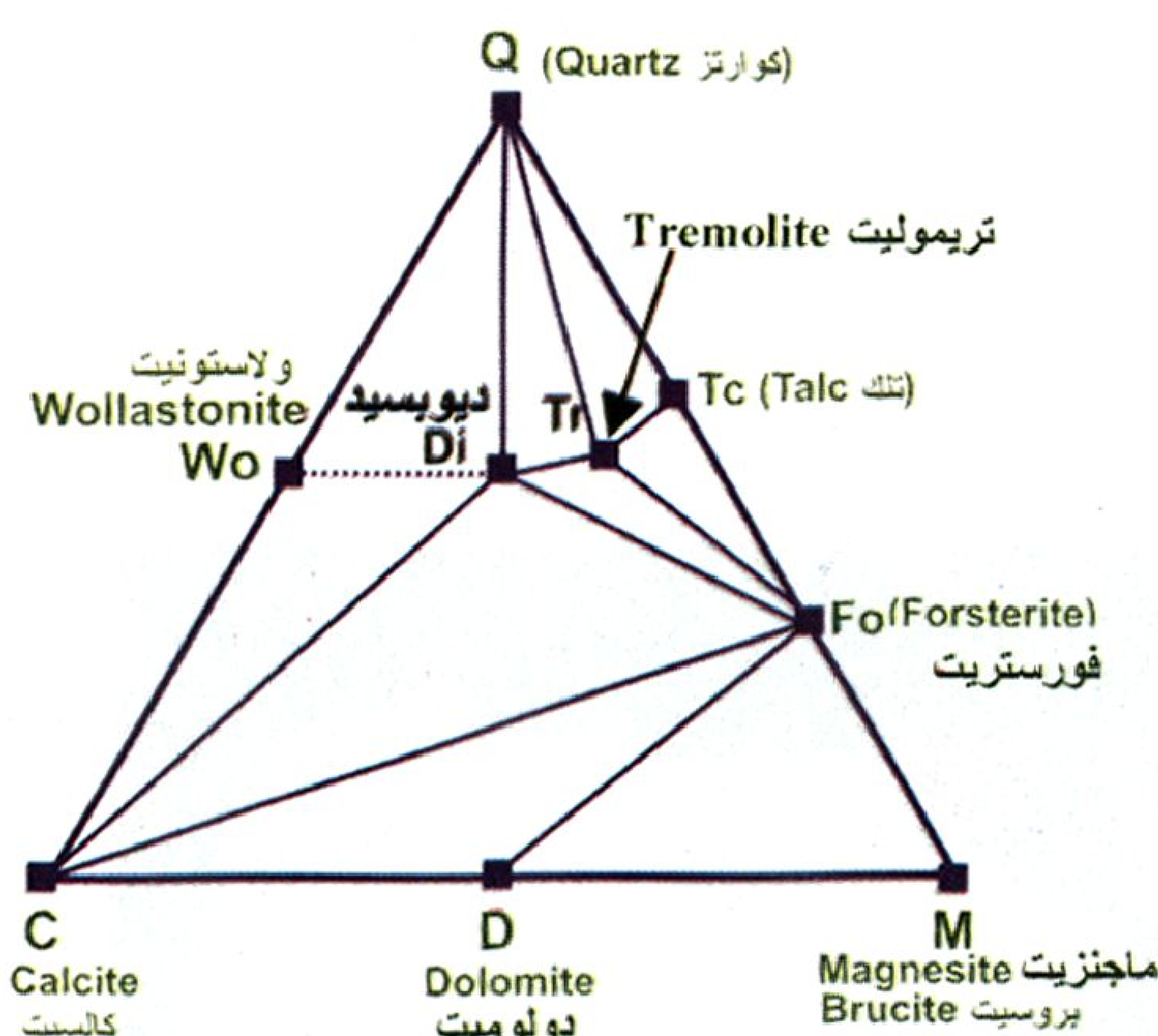
التواجدات والصحبة المعدنية

يوجد معدن الولاستونيت بكثرة فى صخور السكارن أو صخور التحول التلامسي. ينتج الولاستونيت من تفاعل كربونات الكالسيوم (الكالسيت) مع الكوارتز عند حوالي ٦٤٠ درجة مئوية وضغط يساوى ١ كيلو بار أو حوالي ٦٨٠ درجة مئوية وضغط يساوي ٢ كيلو بار حسب التفاعل الآتي (شكل ٥–٢٣) :



$$CaCO_3 + SiO_2 \rightarrow CaSiO_3 + CO_2$$

كالسيت   كوارتز   ولاستونيت



شكل ٥–٢٣: الصحبة المعدنية المتكونة من تحول صخور جيرية عند درجة حرارة ٦٤٠–٦٨٠ درجة مئوية (الفيلالي ٢٠٠٥).

يتم التفاعل السابق غالباً عند تداخل جسم نارى بصخور الحجر الجيرى. من المعادن المصاحبة: الجارنت (الجروسيلار والأندراديت) والديوبسيد والتريموليت والإبيدوت والبلاجيوكليز والكالسيت والفيزوفيانيت. هناك العديد

من أماكن تواجد الولاستونيت ومنها: مناطق فرنكلين وتكساس وكاليفورنيا بالولايات المتحدة الأمريكية وبركان مونت سوما Monte Somma بإيطاليا وبيرهينيمى Perheniemi بفنلندا وساكسونى بألمانيا وأيضاً بالمكسيك واليونان والصين وكندا وسويسرا.

الاستخدامات

يستخدم الولاستونيت فى صناعة السيراميك حيث يساعد على تقليل عمليات الإنكماش وظهور الغازات أثناء عمليات التسخين، كما يساعد على تقوية حرارة التسخين ويقلل عيوب التشقق وعيوب الطبقة الملساء بالسيراميك. كما يستخدم فى صناعة الدهانات حيث يساعد على زيادة مقاومة الدهان لعمليات التجوية كما يقلل إستهلاك المواد الصبغية وفى صناعة البلاستيك حيث يعمل الولاستونيت على تحسين قوى الشد والمرونة للبلاستيك. كما يحل الولاستونيت محل الأسبستوس فى كثير من الصناعات. ويستخدم الولاستونيت أيضاً فى صناعة المواد اللاصقة والمنتجات ذات الإحتكاك مثل فرامل السيارات ومواد اللحام والمواد المقاومة للحرارة وفى صناعة المطاط.

الرودونيت Rhodonite


$MnSiO_3$

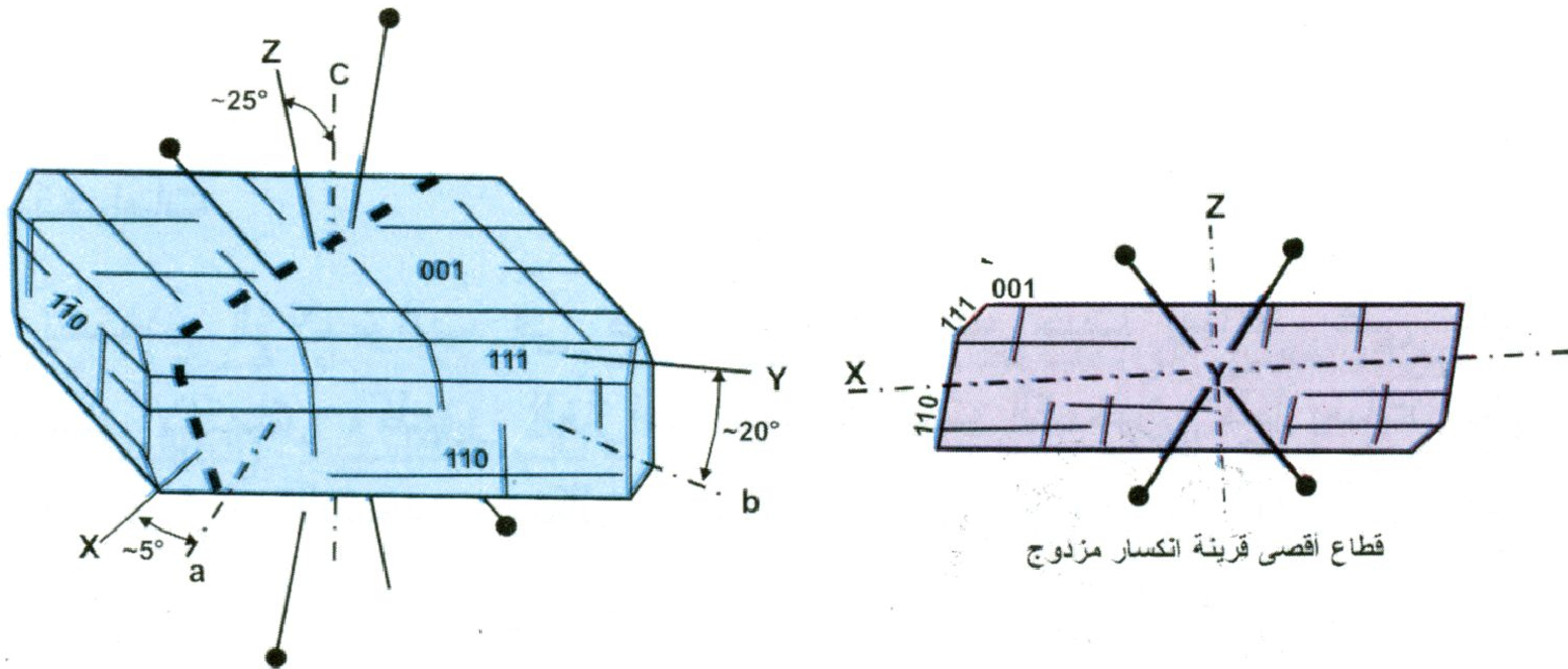
يرجع اسم المعدن إلى الكلمة الإغريقية *Rhodon* والتى تعني "وردي" مشيراً إلى اللون الوردي المميز للرودونيت.



الصفات البلورية

يتبلور المعدن بفصيلة الميول الثلاثة وتبلغ أبعاد خلية الوحدة أ= ٧,٦٨، ب= ١١,٨٢، ج= ٦,٧١ أنجستروم (شكل ٥-٢٤). وتبلغ الزوايا بين المحورية α= ١٠٨,٩٨° وβ= ١٠٢,٩٢° وγ= ٨٢,٥٢° ومجموع ما تملكه خلية الوحدة من ذرات (Z)= ٢، مجموعة النقطة $\bar{1}$ والمجموعة الفراغية $p\bar{1}$.

تتخذ البلورات هيئة منشورية متماسكة أو منفصمة وعلى هيئة كتلية وحبيبات خشنة أو دقيقة الحجم.



شكل ٥-٢٤: العلاقة بين المحاور البلورية (a, b , c) ومحاور مجسم معامل الإنكسار (X, Y , Z) في بلورة لمعدن الرودونيت.

كيميائية المعدن

يتكون الرودونيت من سيليكات المنجنيز ويحتوى أحياناً على كمية من الكالسيوم والزنك والحديد. يأتى اللون الوردي المميز للرودونيت من وجود المنجنيز ثنائي التكافؤ. يتأكسد المعدن ويكّون قشرة سوداء اللون أو بنية عند تعرضه للرطوبة تحت درجات حرارة منخفضة. ومن الممكن أيضاً أن يتحول الرودونيت بفعل عوامل التجوية إلى معدن الرودوكروزيت أو أكاسيد وهيدروكسيدات المنجنيز. قد يحل بعض من الكالسيوم محل المنجنيز بالبنية البلورية للرودونيت وعند زيادة محتوى الكالسيوم بالدرجة الكافية فأنه يتحول إلى معدن بستاميت Bustamite.

الصفات الفيزيائية والبصرية

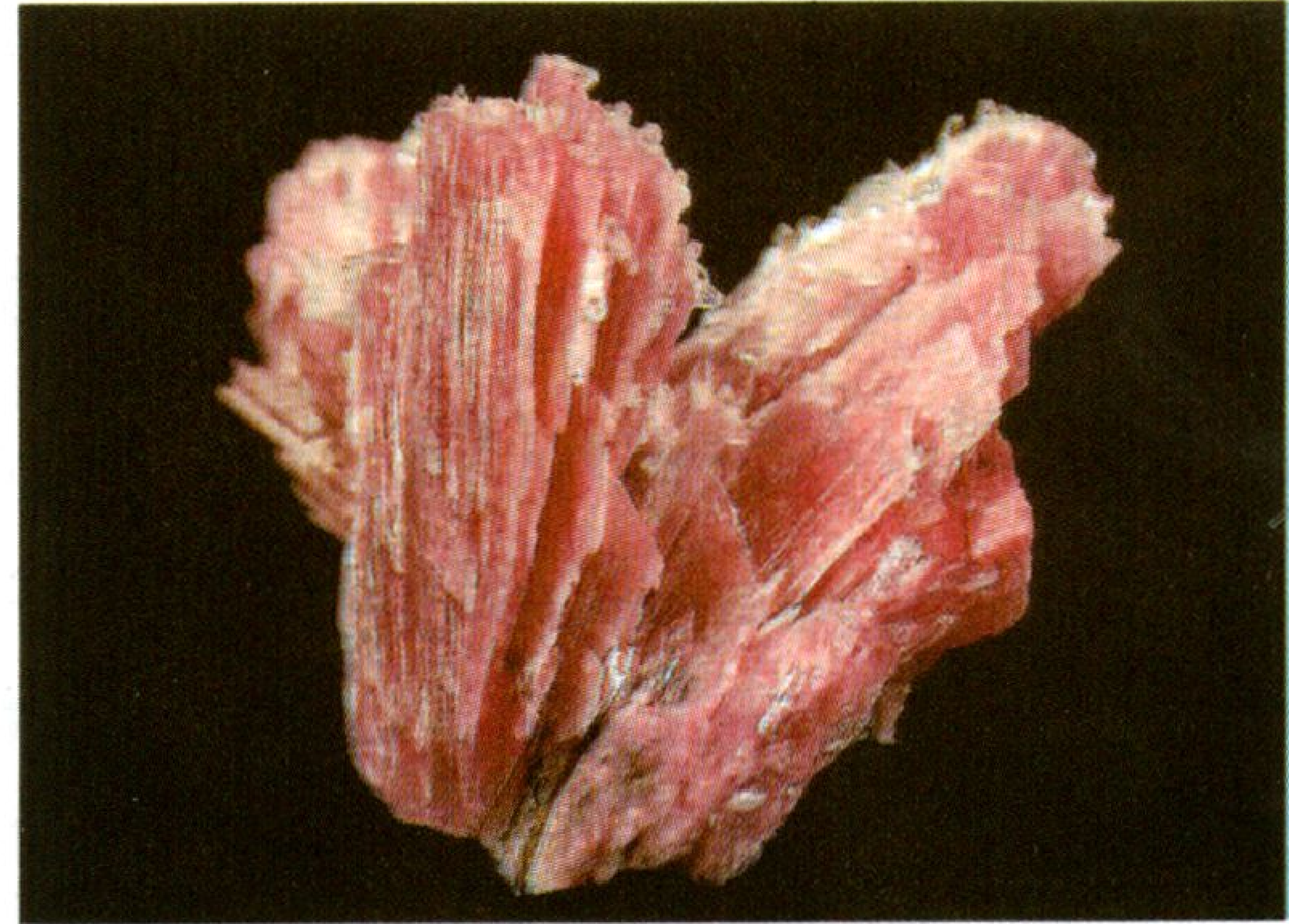
يعتبر الرودونيت من المعادن الجذابة والتى تستخدم فى صناعة الحُلي ويرجع ذلك إلى لونه الوردى أو الأحمر أو البرتقالى (شكل ٥-٢٥)، ويوجد أحياناً على شكل أسود عند زيادة نسبة الحديد به أو بتعرضه لعمليات

التجوية. البريق زجاجي إلى لؤلؤي بالأسطح المصقولة. المخدش أبيض. عادةً تكون البلورات نصف شفافه ونادراً ما تكون شفافه. تتراوح الصلادة بين ٥,٥ و٦,٥. الإنفصام كامل فى إتجاهين بينهما زاوية تقترب من ٩٠° حيث يكّون منشور ذو مقطع عرضي مستطيل. يتراوح الوزن النوعي بين ٣,٤ و ٣,٧. تحت الميكرسكوب، يبدو المعدن عديم اللون إلى وردي فاتح، كما يُظهر تغير لوني ضعيف. يتميز المعدن بألوان التداخل الصفراء من الرتبة الأولى وزاوية الإنطفاء المائله. تقل قيم معاملات الانكسار مع زيادة محتوى الكالسيوم. المعدن ثنائى المحور موجب وتبلغ معاملات انكساره ألفا (α)= ١,٧١١ -١,٧٣٨ وبيتا (β)= ١,٧١٤-١,٧٤١ وجاما (γ)= ١,٧٢٤-١,٧٥١. قرينة الانكسار المزدوج (δ) = ٠,٠١٣٠ والزاوية البصرية ($2V$) = ٦٣°- ٧٦°.

(ب)



(أ)



شكل ٥-٢٥: (أ) رودونيت وردي اللون مع قليل من الكوارتز. (ب) رودينيت أحمر اللون بصحبة سبسارتين بمنطقة بروكين هيل باستراليا. (webmineral.com/specimens/picshow.php?id=980)

التواجدات والصحبة المعدنية

يتواجد الرودونيت ببعض رواسب خامات المنجنيز والحديد. غالباً ما يوجد مصاحباً لمعادن الزنك. ومن المعادن المصاحبة الأخرى: الكالسيت والرودوكروزيت والبستاميت والبيرولوسيت والتيفرويت Tephroite

والزينكيت والويلليميت والكوارتز. ومن أشهر أماكن تواجده جبال الأورال بروسيا وبروكين هيل بأستراليا Broken Hill والسويد والبرازيل والولايات المتحدة الأمريكية (كاليفورنيا وجبال الروكى ونيوجيرسي).

الاستخدامات

يستخدم الرودونيت بشكل أساسي كمعدن شبه كريم وكحجر زينة وإلى حدٍ ما كخام للمنجنيز.

البيكتوليت Pectolite


$NaCa_2 (SiO_3)H$

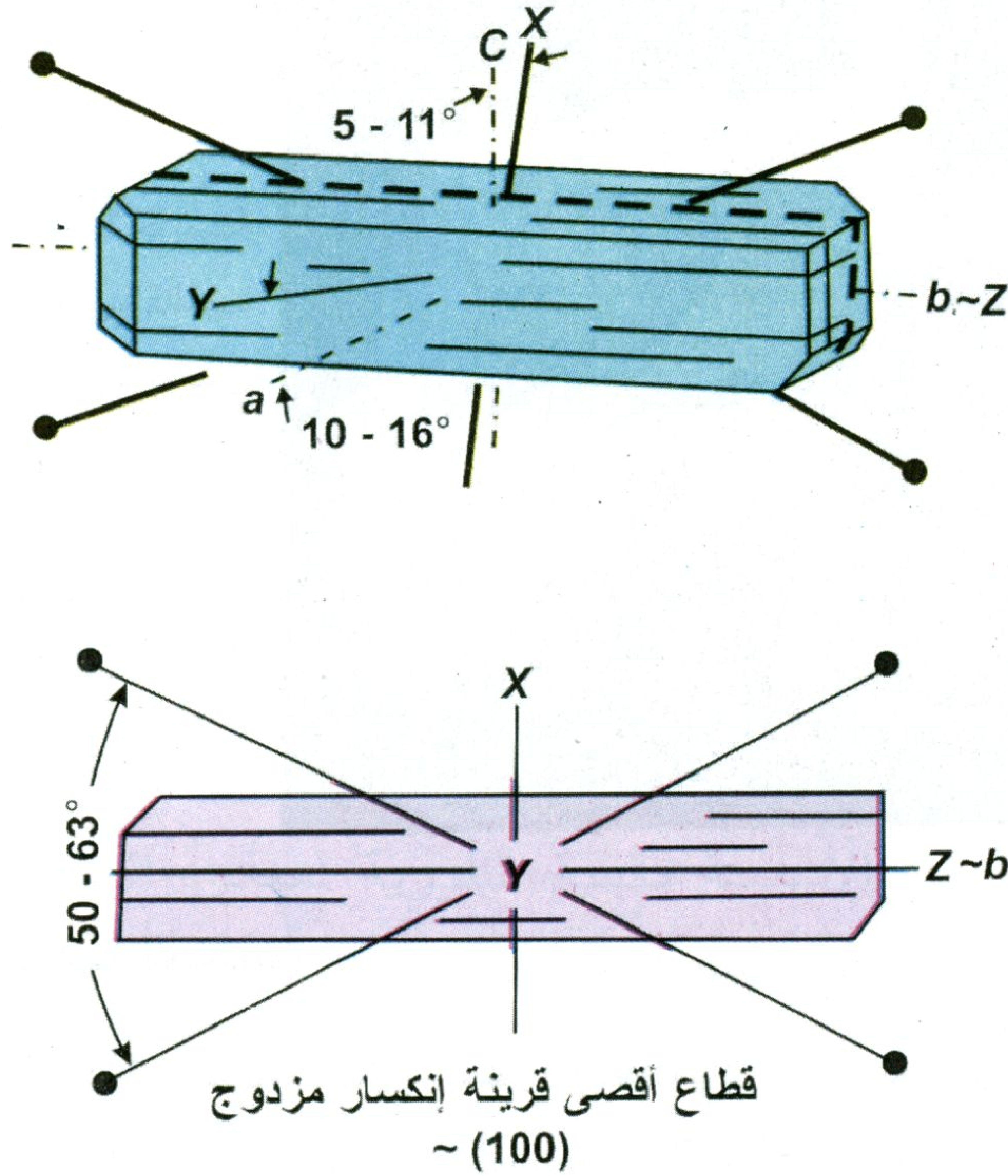
يرجع اسم المعدن إلى الكلمة الإغريقية *pektos* والتى تعني "وضعوا سوياً بشكل جيد Well Put together" ويشير الاسم إلى البنية المتراصة للمعدن.

الصفات البلورية

يتبلور المعدن بفصيلة الميول الثلاثة. وتبلغ أبعاد خلية الوحدة أ= ٧,٩٩، ب= ٧,٠٣، ج= ٧,٠٣ أنجستروم (شكل ٥-٢٦) ونسبة أطوال المحاور البلورية أ: ب: ج= ١,١٣٧: ١: ١. وتبلغ الزوايا بين المحورية α= ٩٠,٥١° وβ= ٩٥,٢١° وγ= ١٠٢,٥٣°. مجموع ماتمتلكه خلية الوحدة من ذرات (Z)=٢، مجموعة النقطة $\bar{1}$ والمجموعة الفراغية $p\bar{1}$. عادةً توجد بلورات المعدن فى شكل ليفى أو إبري (شكل ٥-٢٧) وأحياناً تتشكّل البلورات الإبرية الشعاعية كتل صماء.

كيميائية المعدن

يتكون المعدن من عناصر الكالسيوم والصوديوم والسيليكون والهيدروجين والأكسجين وتوافق هذا العناصر صيغته الكيميائية المثالية، مع كميات بسيطة من البوتاسيوم والحديد والماغنسيوم والألومنيوم.



شكل ٥-٢٦: العلاقة بين المحاور البلورية (a, b , c) ومحاور مجسم معامل الإنكسار (X, Y, Z) في بلورة لمعدن البيكتوليت.

الصفات الفيزيائية والبصرية

المعدن عديم اللون أو أبيض أو رمادي (شكل ٥-٢٧). البريق زجاجى إلى حريري. المخدش أبيض. البلورات شفافة إلى نصف شفافة. تتراوح الصلادة بين ٤,٥ و ٥ والإنفصام كامل فى إتجاهين بينهما زاوية تقترب من ٩٠°. يتراوح الوزن النوعي بين ٢,٧ و ٢,٩. تحت الميكرسكوب، يبدو المعدن عديم اللون وذو تضاريس عالية وقرينة انكسار مزدوج متوسطة، كما يظهر إنفصام كامل فى إتجاهين مع إنطفاء متوازى. المعدن ثنائى المحور موجب، وتبلغ معاملات الانكسار ألفا (α)=١,٥٩٤-١,٦١ وبيتا (β)= ١,٦٠٣-١,٦١٤ وجاما (γ)=١,٦٣١-١,٦٤٢ وقرينة الانكسار المزدوج (δ) =٠,٠٣٢-٠,٠٣٧ والزاوية البصرية ($2V$)= ٥٠°- ٦٣°.



شكل ٥-٢٧: بلورات إبرية عديمة اللون من البيكتوليت بمعدن الكالسيت (مصفر اللون) من محجر بودريتي، كويبك، كندا Poudrette quarry, Québec, Canada. http://www.johnbetts-fineminerals.com

التواجدات والصحبة المعدنية

يتواجد البيكتوليت غالباً على شكل ميجدالى ومالئ للفجوات بصخور البازلت وقواطع الديابيز Diabase والصخور الأخرى المشابهه. كما يتواجد كمعدن ثانوى بالصخور النارية والصخور المتحولة الكلسية. من المعادن المصاحبة: معادن الزيوليت والبيرهنيت والكالسيت ومن أشهر أماكن تواجده: مناطق فرانكلين وكاليفورنيا وباتيرسون ونيوجيرسي بالولايات المتحدة الأمريكية وفى إيطاليا وإنجلترا.

مجموعة الأمفيبول

Amphibole group

يرجع اسم الأمفيبول إلى الكلمة الإغريقية *amhp-ibolos* والتى تطلق على التريموليت والأكتينوليت والهورنبلند، وفيما بعد تم إطلاق هذا الاسم على مجموعة الأمفيبول بالكامل. تعتبر مجموعة الأمفيبول من أكثر مجاميع المعادن المعقدة كيميائياً فى الطبيعة، كما تتميز بطريقة رص معينة لذرتها والتي تعرف باسم سلسلة السيليكات المزدوجة Double silicate chain. وقد ساعدت التقنيات الحديثة (مثل حيود الأشعة السينية X-Ray Diffraction

والمسبار الإلكترونى Microprobe) فى التعرف على الأنواع المختلفة من الأمفيبول.

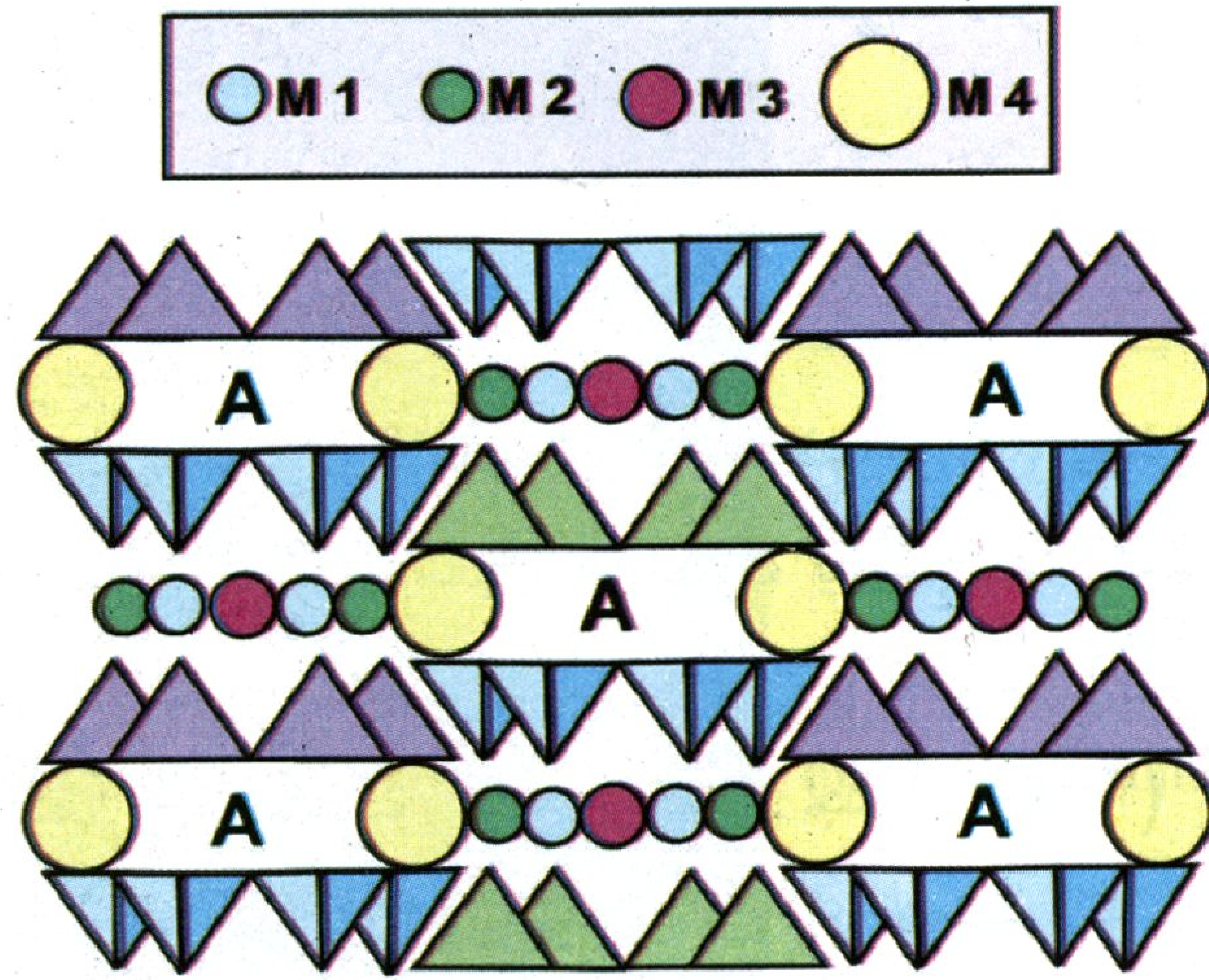
البنية البلورية

تتشابه البنية البلورية لمعادن الأمفيبول فيما بينها ولكن يكمن الإختلاف فى أنظمة التبلور (المعينى القائم أوالميل الواحد)، يتضح هذا التشابه البنائى فى الزوايا بين الأوجه المنشورية التى تتراوح بين ٥٦ و١٢٤ درجة وأيضاً فى نوعية الإنفصام الموازى للمنشورات. يوضح جدول (٥-٣) أبعاد خلايا الوحدة وعدد ما تمتلكها من ذرات (Z) لبعض أنواع الأمفيبول.

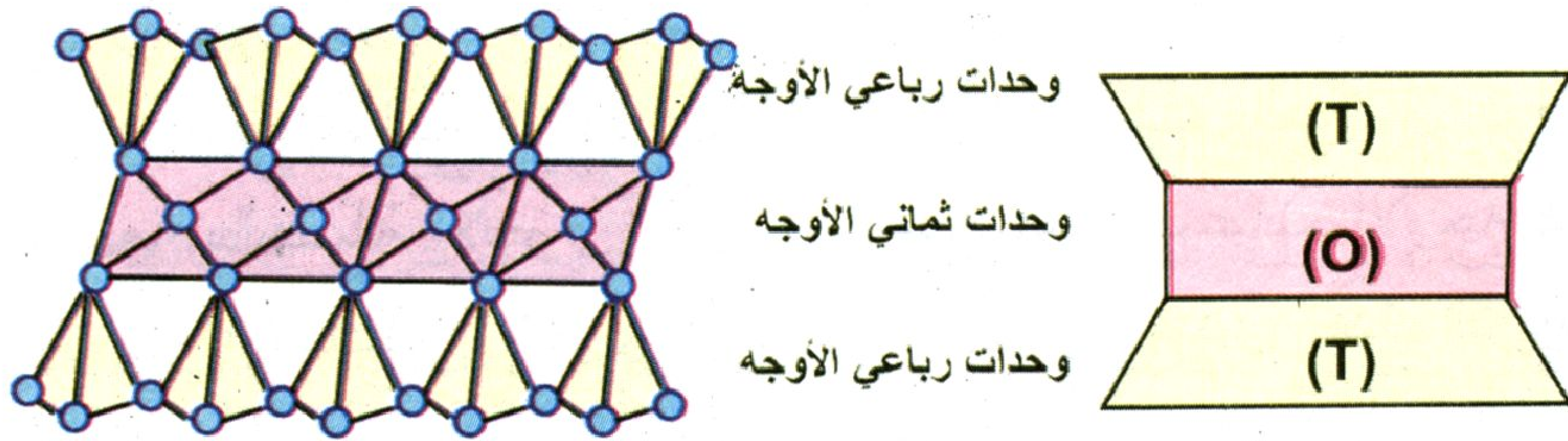
تتكون الوحدة الأساسية بالبنية البلورية لمعادن الأمفيبول من سلاسل مزدوجة من رباعي الأوجه السيليكاتي. تمتد هذه السلاسل موازية للمحور البلورى "c" ، حيث تواجه قواعد رباعيات الأوجه بأحد السلاسل قواعد رباعيات الأوجه بالسلسلة الأخرى، وأيضاً تواجه قمم رباعيات الأوجه قمم رباعيات الأوجه بالسلسلة الأخرى (شكل ٥-٢٨أ). يؤدى هذا الترتيب الهندسي إلى وجود خمس مواقع بنائية مختلفة بين هذه السلاسل. تتواجد المواقع M1 وM2 و M3 بين قمم رباعيات الأوجه المتسلسلة، بينما يتواجد موقعي A, M4 بين قواعد هذه الرباعيات.

تشكل السلسلتين وما تحتويهما من مواقع M3, M2, M1 بنية بلورية محاكية للسيليكات الصفائحية من نوع "T-O-T" (شكل ٥-٢٨ب). ترتبط طبقات TOT مع بعضها عن طريق كاتيونات بمواقع A وM4 مكونةً البنية البلورية للأمفيبول حيث يحدث الإنفصام بين هذه الطبقات (شكل ٥-٢٨ج). تتميز البنية البلورية لمعادن الأمفيبول بإمكانية إعادة الترتيب للكاتيونات بمواقع رباعى وثمانى الأوجه. يعتمد هذا التغيير أو إعادة الترتيب إلى حد كبير على ظروف درجات الحرارة.

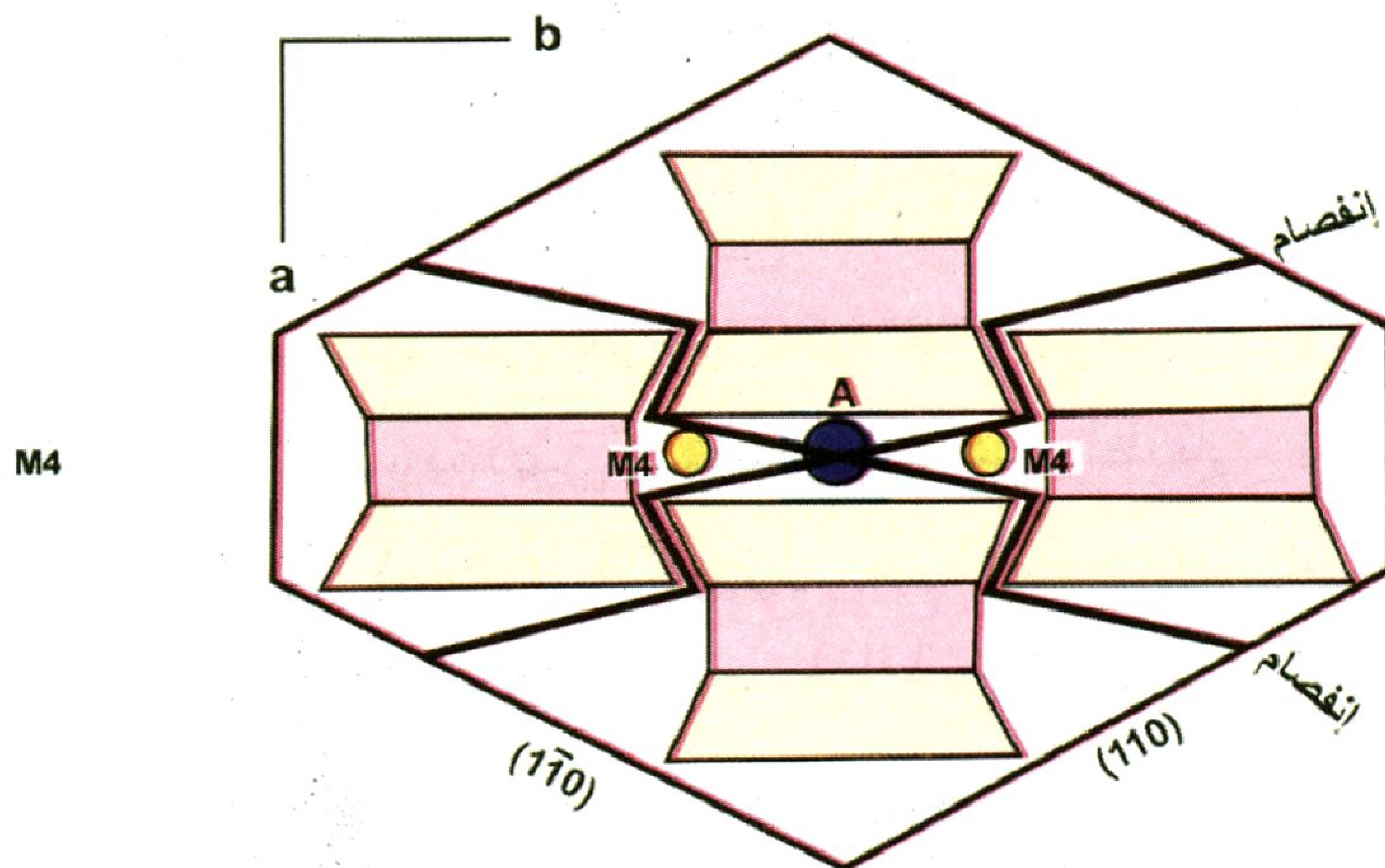
(أ)



(ب)



(ج)



شكل ٥- ٢٨: (أ) البنية البلورية لمعادن الأمفيبول. (ب) ترتيب وحدات رباعى وثماني الأوجه على هيئة " T-O-T". (ج) إتجاهي الإنفصام خلال طبقات T-O-T". (محور عن نيسي Nesse ٢٠٠٠).

جدول ٥-٣: أبعاد الخلية لبعض معادن الأمفيبول.

المعدن	الصيغة الكيميائية	(أ) انجستروم	(ب) انجستروم	(ج) انجستروم	β درجة	Z
هورنبلند	$(Si,Al)_8 O_{22}(OH)_2 (K,Na)_{0-1} (Ca,Na,Fe,Mg)_2(Mg,Fe,Al)_5$	٩,٨٩	١٨,٠١	٥,٣٣	١٠٥	٢
كمنجتونيت	$(Mg,Fe,)_7Si_8O_{22}(OH)$	٩,٥١	١٨,١٩	٥,٣٣	١٠٢	٢
جرونيريت	$Fe_7Si_8O_{22}(OH)_2$	٩,٥٧	١٨,٢٢	٥,٣٣	١٠٢	٢
تريموليت	$Ca_2Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2$	٩,٨٦	١٨,١١	٥,٣٤	١٠٥	٢
أكتينوليت	$Ca_2(Mg,Fe)_5 Si_8O_{22}(OH)_2$	٩,٨٤	١٨,١٠	٥,٢٧	١٠٥	٢
جلوكوفان	$Na_2 Mg_3 Al_2 Si_8O_{22}(OH)_2$	٩,٧٨	١٧,٨٠	٥,٣٠	١٠٤	٢
ريبيكيت	$Na_2(Fe,Mg)_3 (Fe,Al)_2 Si_8O_{22}(OH)_2$	٩,٧٧	١٨,٠٣	٥,٣٤	١٠٤	٢

تصنيف معادن الأمفيبول

بذلت منظمة علم المعادن الدولية IMA مجهودات عديدة لوضع تصنيف مبسط لمعادن الأمفيبول. ففى عام ١٩٧٨، تم تصنيف الأمفيبول بواسطة ليك وأخرون (١٩٧٨) .Leake et al (IMA78). ومع تطور المعلومات والمفاهيم الحديثة عن التغيرات التى تحدث بالبنية البلورية للأمفيبول، تم تحديث هذا التصنيف فى عام ١٩٩٧ وتحديد أربع مجاميع رئيسية للأمفيبول بواسطة ليك وأخرون (IMA97). وفي عام ٢٠٠٤، تم إضافة مجموعة خامسة (ليك وأخرون ٢٠٠٤) وبذلك يمكن القول بأن هناك خمس مجموعات رئيسية للأمفيبول تعتمد في تصنيفها فى المقام الأول على المحتوى الكيميائى بالصيغة العامة للأمفيبول:



$$AB_2C_5{}^{VI}T_8{}^{IV}O_{22}(OH)_2$$

حيث A: موقع واحد بوحدة الصيغة

B: موقعين M4 بوحدة الصيغة

C: مكون من خمس مواقع ممثلة فى موقعين M_1، موقعين M_2 وموقع واحد M_3 بوحدة الصيغة

T: ٨ مواقع بوحدة الصيغة

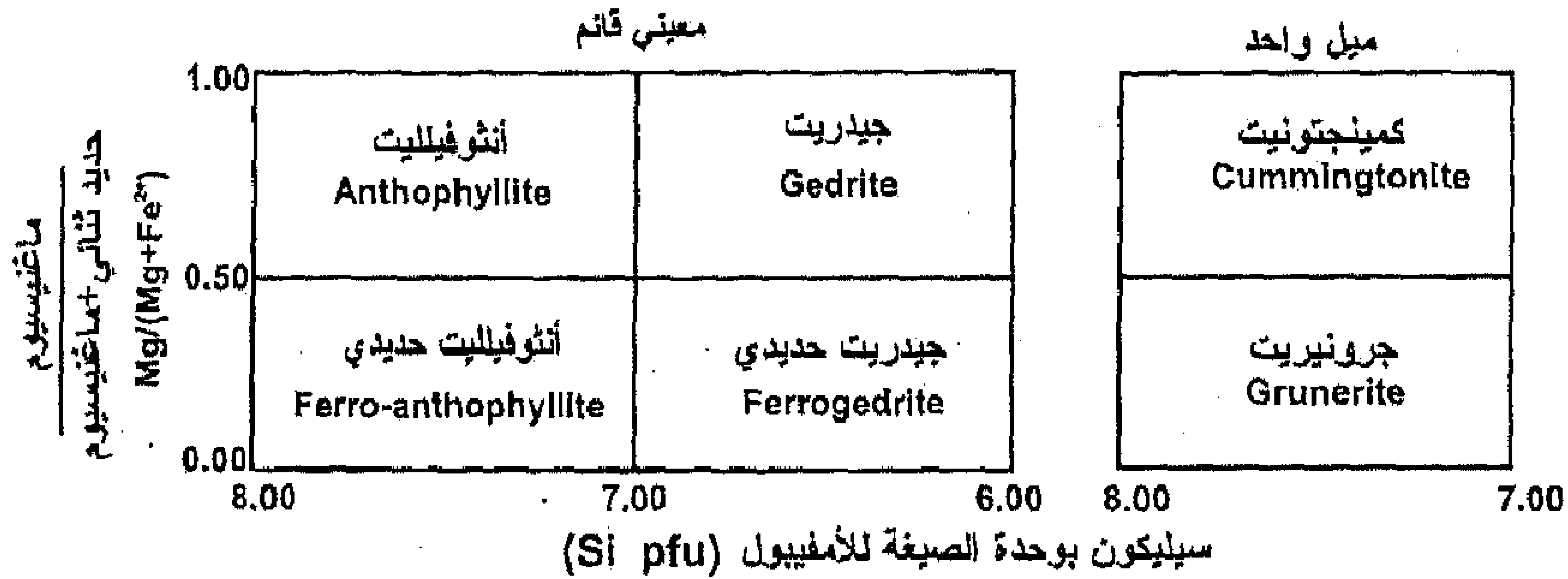
OH: موقعين بوحدة الصيغة

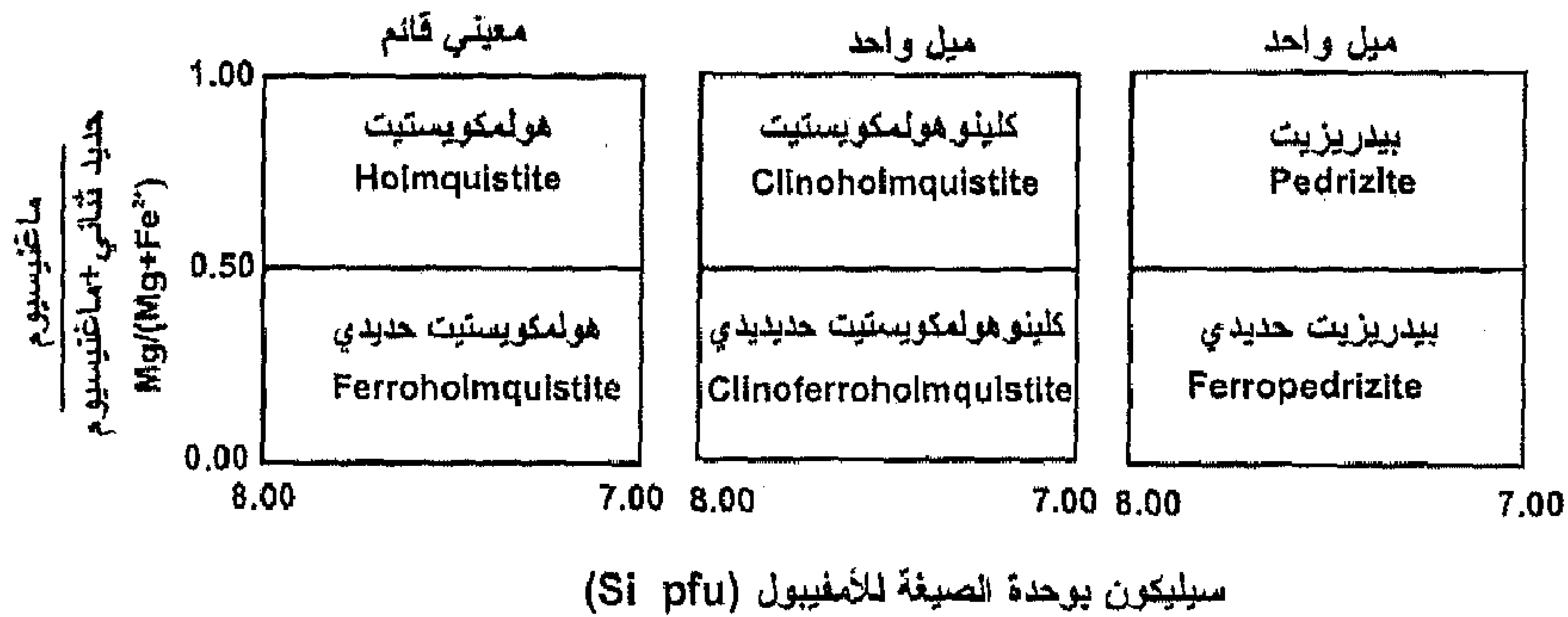
يوضح جدول (٥-٤) الأيونات المختلفة والمواقع التي تشغلها بالصيغة العامة للأمفيبول (ليك وأخرون ٢٠٠٤).

جدول ٥-٤: الأيونات المختلفة والمواقع التي تشغلها بالصيغة العامة للأمفيبول.

الأيونات	OH	T	C	B	A
البوتاسيوم أو الموقع الفارغ (□) empty site					√
الصوديوم				√	√
الكالسيوم				√	
الأيونات من النوع L (ماغنسيوم، حديد ثنائى، منجنيز، ليثيوم Li وبعض الأيونات المتشابهه فى الحجم مثل الزنك والنيكل والكوبالت)			√	√	
الأيونات من النوع M (ألومنيوم، حديد ثلاثى وبشكل نادر المنجنيز M^{3+} والكروميوم Cr^{3+})			√		
الأيونات عالية التكافؤ : Ti^{4+}		√	√		
Zr^{4+}			√		
Si^{4+}		√			
الهيدوكسيل (OH) والفلورين (F) والكلورين(Cl) والأكسجين	√				

١- **مجموعة أمفيبول الماغنسيوم والحديد والمنجنيز والليثيوم**: ويكون فيها مجموع كل من الكالسيوم والصوديوم بالموقع B أقل من واحد [Ca+ ($Na)_B<1.00$]، ويكون مجموع الأيونات من النوع L (الماغنسيوم والحديد والمنجنيز والليثيوم) أكبر من أو يساوى واحد ونصف (Mg, Fe, Mn, $Li)_B \geq 1.5$. يوضح شكل (٥-٢٩) التصنيف التفصيلي لهذه المجموعة.



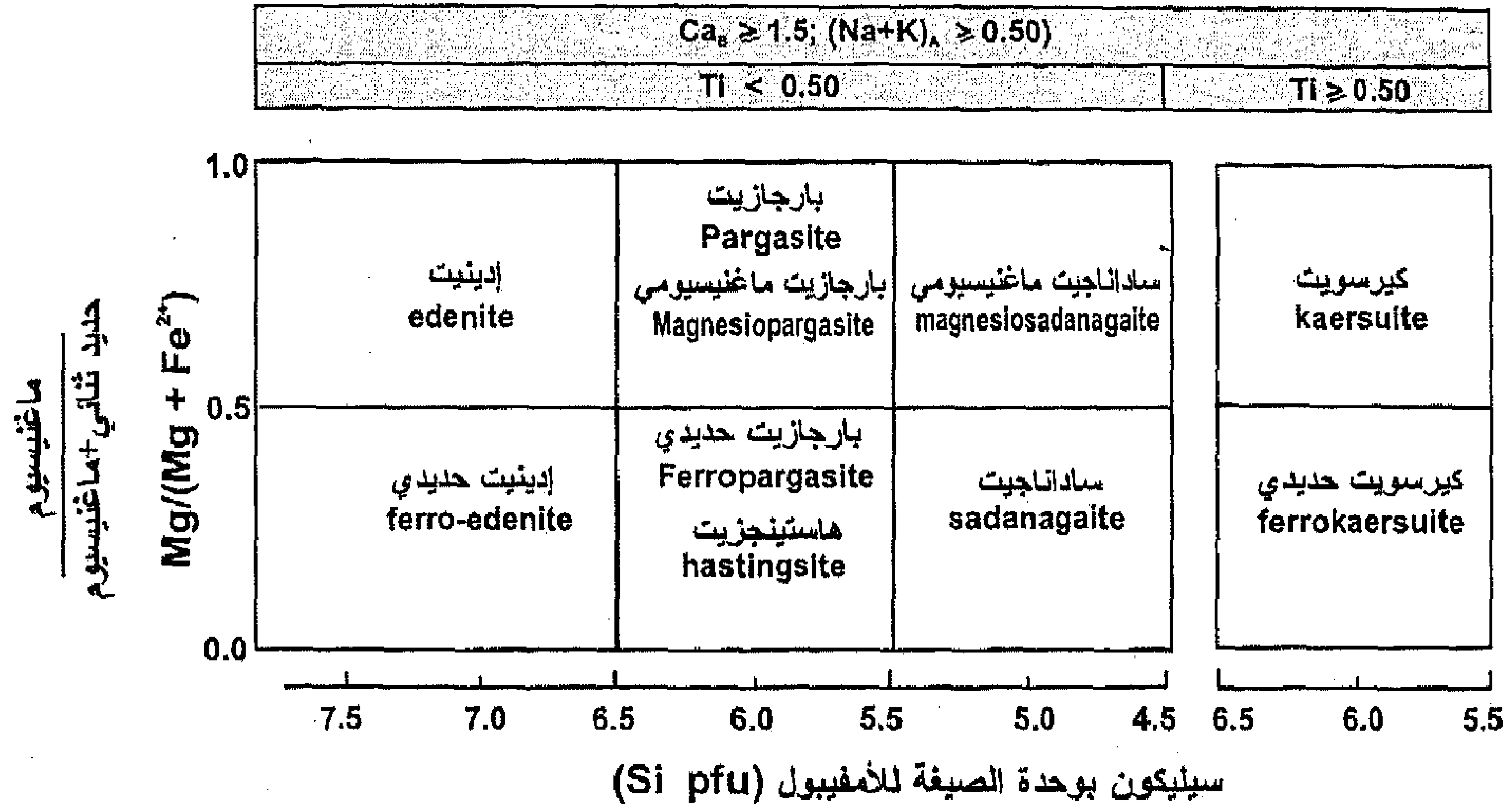


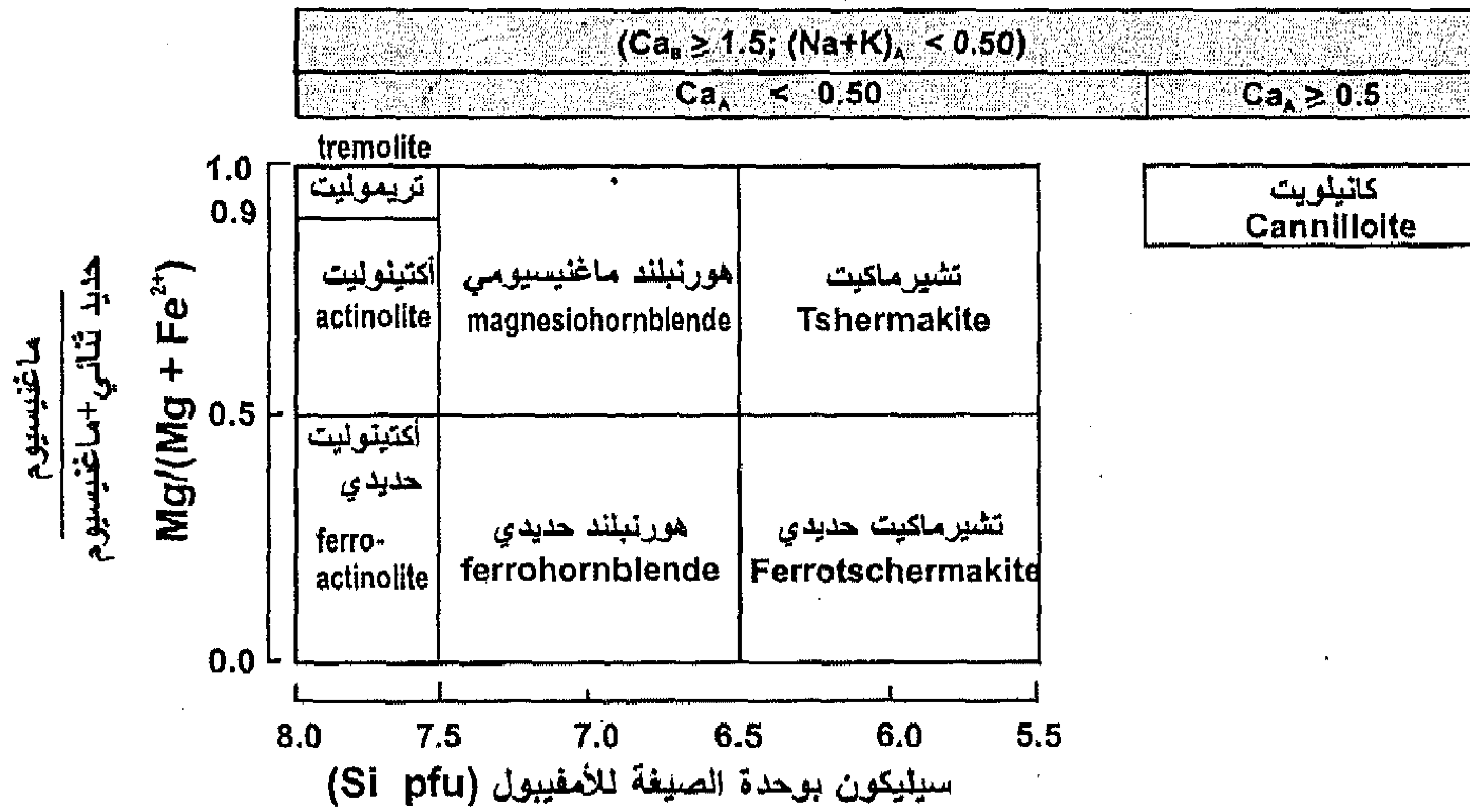
شكل ٥-٢٩: تصنيف مجموعة الأمفيبول الغنى بالماغنسيوم والحديد والمنجنيز والليثيوم. (ليك وأخرون ١٩٩٧).

٢- **مجموعة الأمفيبول الكالسي**: يكون الكالسيوم في هذه المجموعة أكبر من أو يساوى ١,٥ في الموقع B. أما الصوديوم والبوتاسيوم بالموقع A، فيكونا أحياناً أكبر من أو يساوى ٠,٥ $(Na+K)_A \geq 0.5$، في هذه الحالة يتواجد التيتانيوم في الموقع A. كما يكون مجموع البوتاسيوم والصوديوم في أحيان أخرى أقل من ٠,٥ في الموقع A وفي هذه الحالة يتواجد الكالسيوم أيضاً في الموقع A. يوضح شكل (٥-٣٠) التصنيف التفصيلي لهذه المجموعة.

المجموعة الثانية : الأمفيبول الكالسي

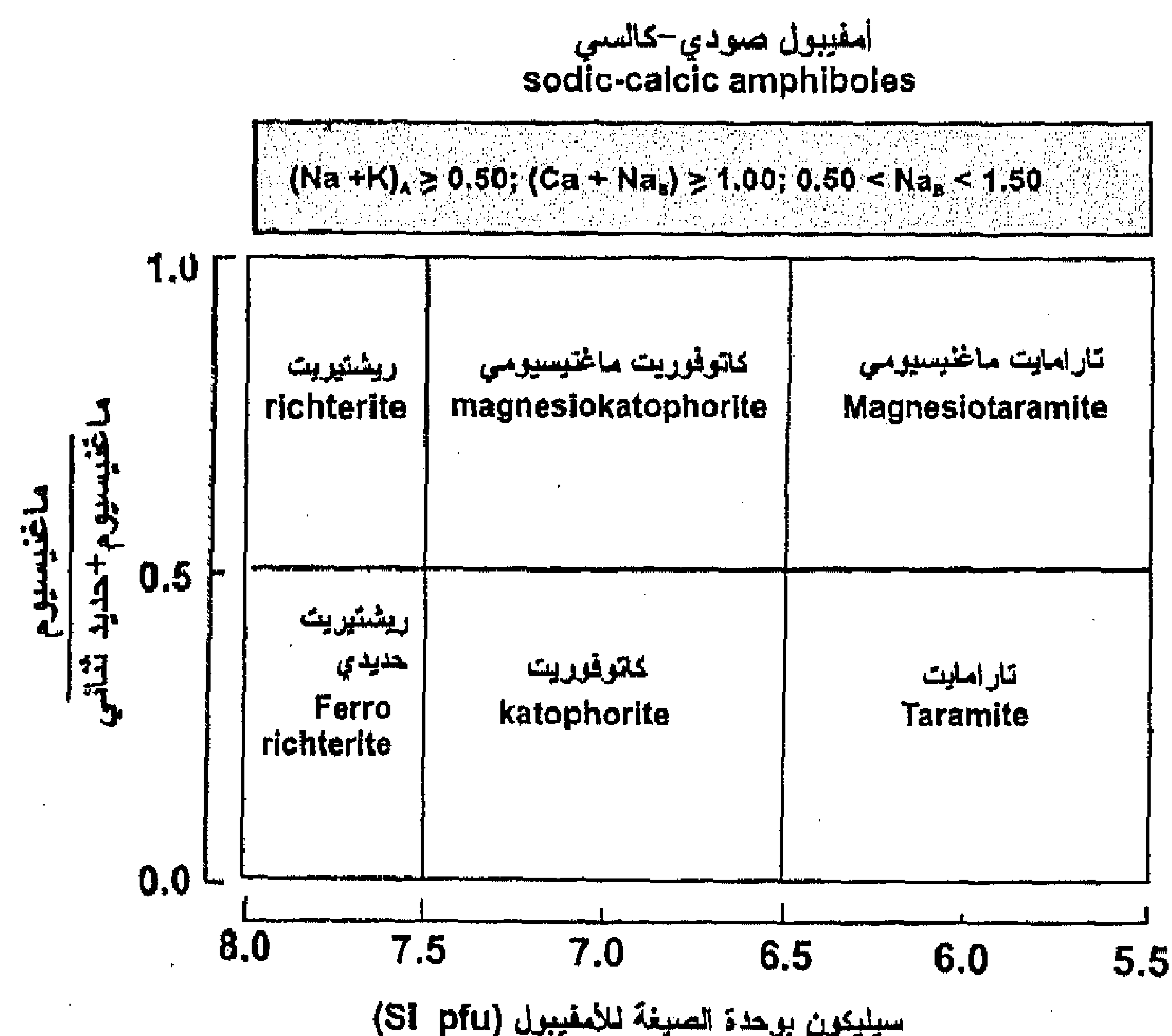
Group 2 : Calcic amphiboles

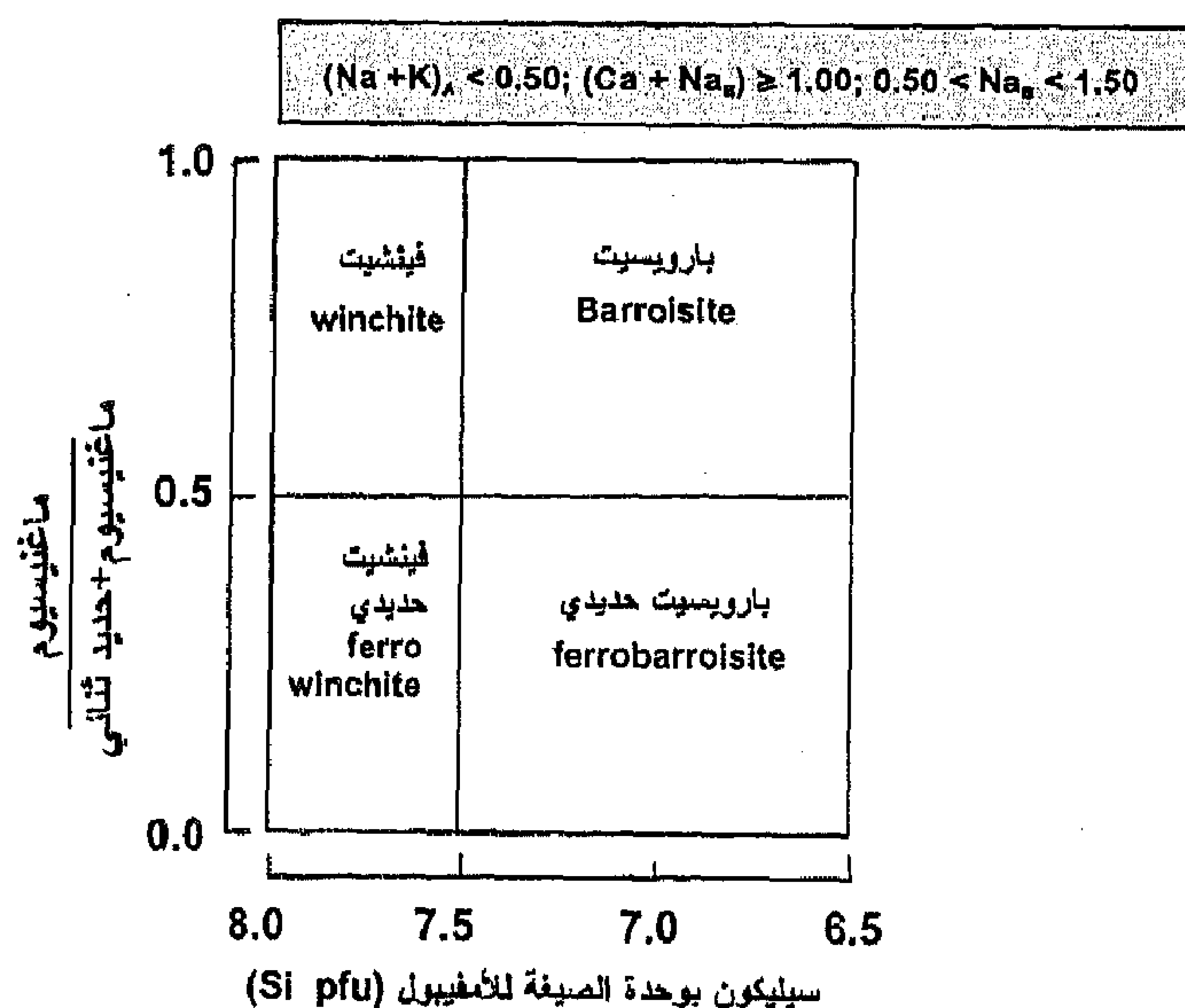




شكل ٥-٣٠: تصنيف مجموعة الأمفيبول الكالسي (ليك وآخرون ١٩٩٧).

٣- **مجموعة الأمفيبول الصودي-الكالسي:** ويكون فيها مجموع الكالسيوم والصوديوم بالموقع B أكبر من أو يساوي واحد $(Ca+Na)_B \geq 1$، كما يتراوح الصوديوم بالموقع A بين ٠,٥ إلى١,٥. يوضح شكل (٥-٣١) التصنيف التفصيلي لهذه المجموعة.

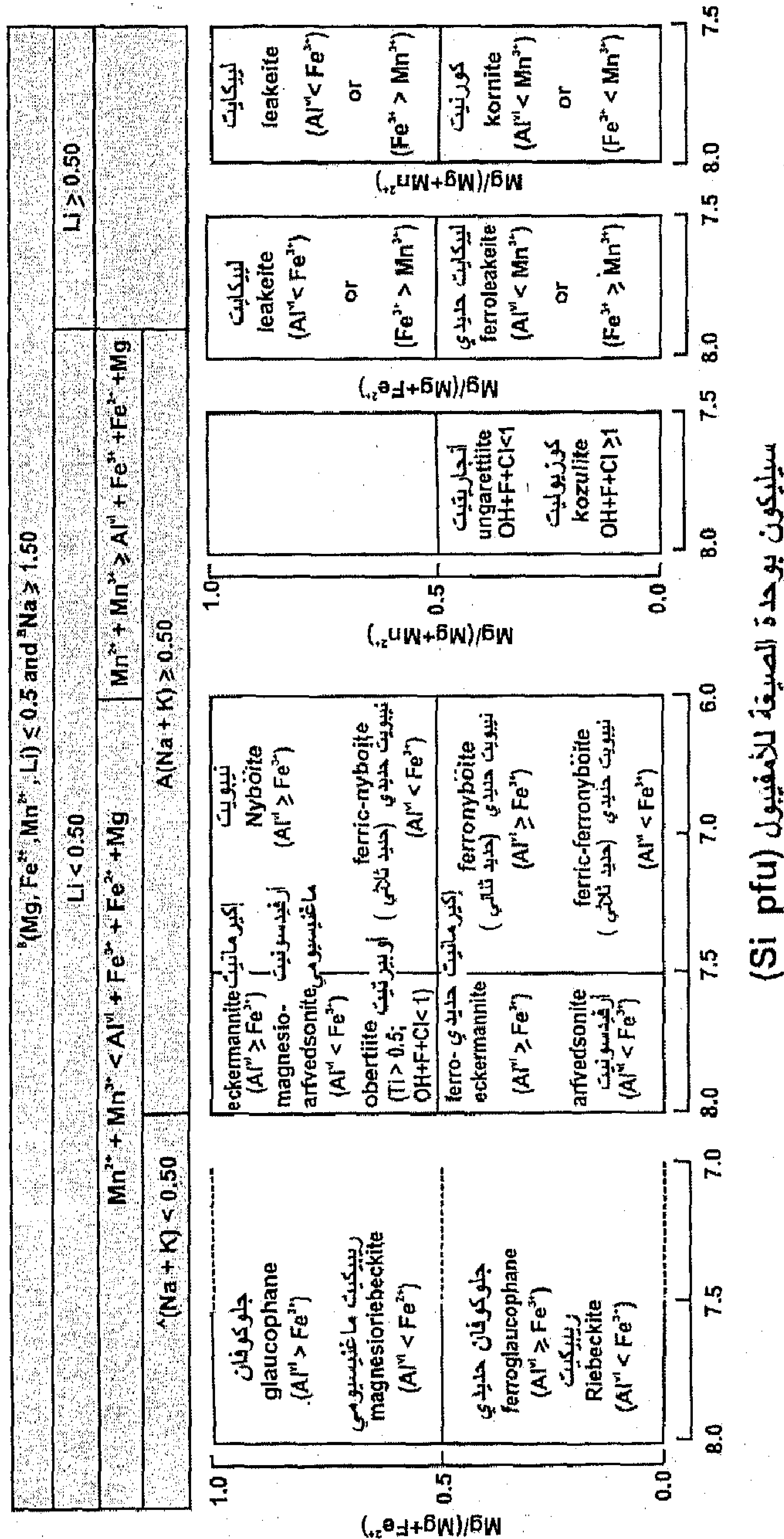




شكل ٥-٣١: تصنيف مجموعة الأمفيبول الصودي-الكالسي (ليك وأخرون ١٩٩٧).

٤- **مجموعة الأمفيبول الصودي**: حيث تزيد قيمة الصوديوم بالموقع B عن أو تساوى ١,٥ $(Na_B \geq 1.5)$ وتعرف هذه المجموعة سابقاً باسم الأمفيبول القلوي. ولكن فى التصنيف الجديد، يشير اسم الأمفيبول الصودي بشكل

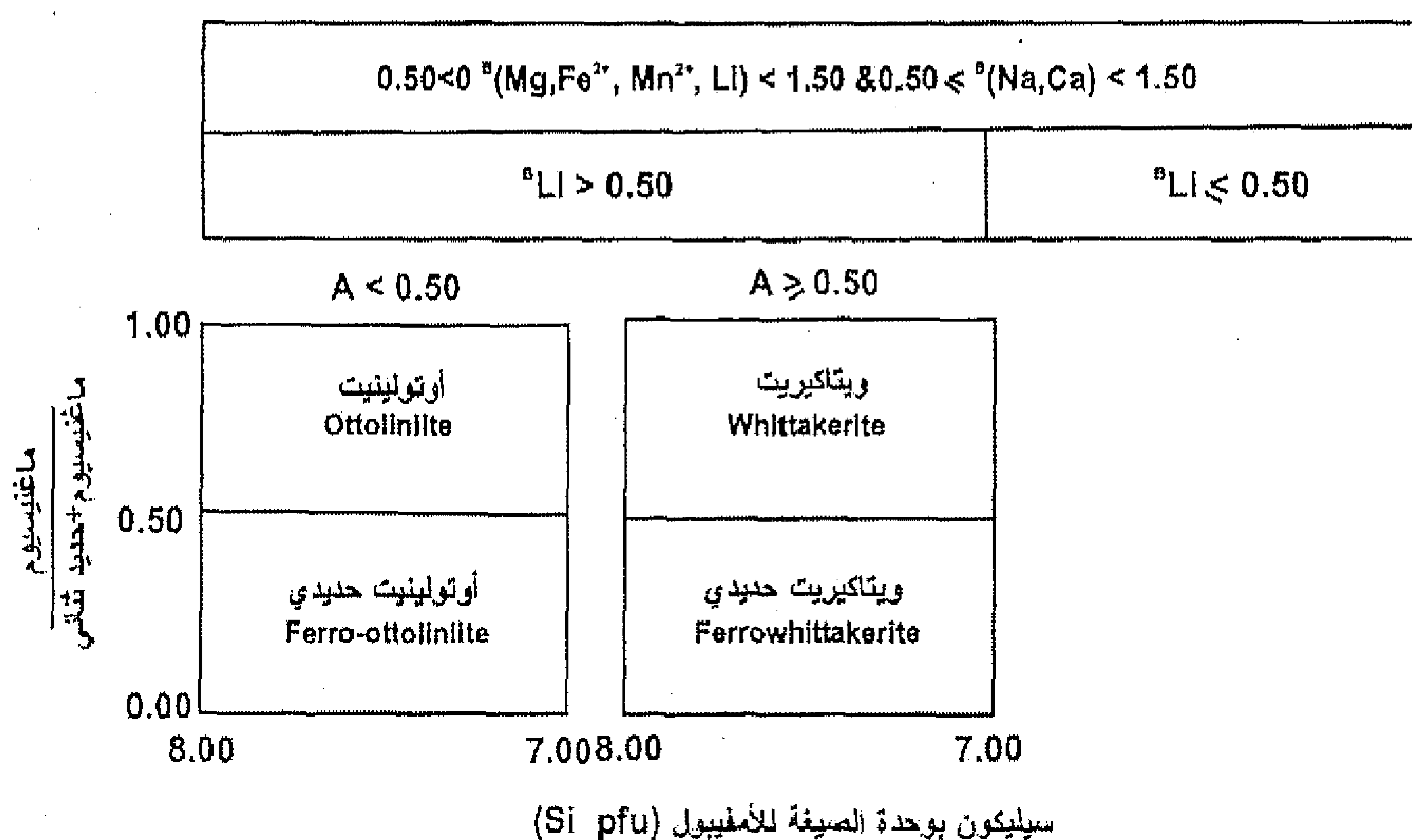
مباشر إلى دور الصوديوم فى تسمية هذه المجموعة وليس كل العناصر القلوية كما تعني التسمية السابقة. يوضح شكل (٥-٣٢) التصنيف التفصيلي لهذه المجموعة.



شكل ٥-٣٢: تصنيف مجموعة الأمفيبول الصودي (ليك وآخرون ١٩٩٧).

٥- **مجموعة أمفيبول الصوديوم-الكالسيوم-الحديد-الماغنسيوم-المنجنيز-الليثيوم:** وفيها يكون مجموع الأيونات للماغنسيوم والحديد الثنائى والمنجنيز الثنائى والليثيوم بالموقع B أكبر من ٠,٥ وأقل من ١,٥ $[0.5<(Mg+Fe^{2+} Mn^{2+}+Li)_B<1.5]$. ويكون مجموع كل من أيونى الكالسيوم والصوديوم بالموقع B أكبر من أو يساوى ٠,٥ وأقل من أو يساوى ١,٥ [$0.5\leq(Ca+Na)B\leq1.5$ apfu]. يوضح شكل (٥-٣٣) التصنيف التفصيلي لهذه المجموعة.

أمفيبول غني بالصوديوم-الكالسيوم-الماغنيسيوم-الحديد-المنجنيز-الليثيوم
Group 5: Na-Ca-Mg-Fe-Mn-Li amphiboles



شكل ٥-٣٣: تصنيف مجموعة أمفيبول الصوديوم-الكالسيوم-الحديد-الماغنسيوم-المنجنيز-الليثيوم (ليك وأخرون ٢٠٠٤).

علاوة على ما سبق، فأنه يمكن أيضاً تصنيف الأمفيبول حسب نظام التبلور إلى:

(١) **أمفيبولات أحادية الميل Monoclinic Amphiboles** والتى تشتمل على:

(أ) سلسلة الكمنجتونيت $(Mg, Fe,)_7Si_8O_{22}(OH)_2$

- الجرونيريت Grunerite
- الكمنجتونيت Cummingtonite

- الكمنجتونيت الماغنسيومي Magnesiocummingtonite

(ب) سلسلة الأكتينوليت Actinolite series:

- التريموليت $Ca_2Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2$
- الأكتينوليت $Ca_2(Mg,Fe)_5Si_8O_{22}(OH)_2$

(ج) الهورنبلند $(K,Na)_{0-1}(Ca,Na,Fe,Mg)_2(Mg,Fe,Al)_5(Si,Al)_8O_{22}(OH)_2$

(د) الأمفيبول الصودى:

- جلوكوفان $Na_2\ Mg_3\ Al_2\ Si_8O_{22}(OH)_2$
- ريبيكيت $Na_2(Fe,Mg)_3\ (Fe,Al)_2Si_8O_{22}(OH)_2$

(٢) الأمفيبولات معينة الأوجه Orthorhombic amphiboles

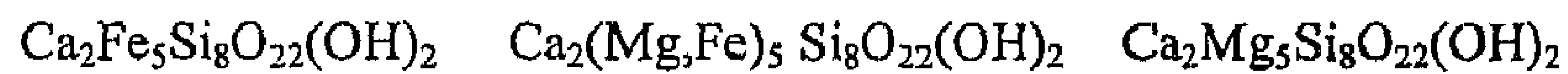
(أ) أنثوفيلليت $(Mg,Fe)_7Si_8O_{22}(OH)_2$

(ب) جيدريت $(Mg,Fe,Al)_7(Al,Si)_8O_{22}(OH)_2$

كيميائية معادن الأمفيبول

تستوعب البنية البلورية للأمفيبول العديد من التبادلات الأيونية مما يؤدى إلى ظهور مدى واسع من التركيب الكيميائى لمعادن الأمفيبول (جدول ٥-٥). تُظهر مجموعات الأمفيبول سلاسل متصلة من التفاعلات، مثل سلسلة الأكتينوليت:

تريموليت ← أكتينوليت ← أكتينوليت حديدى



$Ca_2Fe_5Si_8O_{22}(OH)_2$ $Ca_2(Mg,Fe)_5\ Si_8O_{22}(OH)_2$ $Ca_2Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2$

تعتبر كيميائية الأمفيبول ذات أهمية خاصة للمشتغلين بمجال الصخور المتحولة وذلك لحساسية التركيب الكيميائى لمعادن الأمفيبول لمتغيرات الحرارة والضغط مما جعله من المعادن الهامة في تطبيقات مقاييس الحرارة والضغط Geothermobarometry، فمثلاً:

- تزداد نسبة التيتانيوم بالأمفيبول مع زيادة درجة الحرارة
- تزداد قيم الصوديوم بالموقع M_4 مع زيادة الضغط .
- يزداد محتوى الأمفيبول لعناصر الألومنيوم+الحديد الثلاثى+التيتانيوم+الكروميوم بزيادة الضغط.

جدول ٥-٥: التحليل الكيميائي للأمفيبول من مناطق مختلفة.

	١	٢	٣	٤
SiO_2	٤٢,١٠	٤٥,٩٩	٥٠,٤٨	٤٤,٩٩
TiO_2	٠,٨٣	٠,٥٢	٠,٧٢٨	١,٣٦٩
Al_2O_3	١٦,٨٥	١٤,٢٢	٥,٣٤٥	١٠,٤٣٩
FeO	٧,٦٩	١,٦٠	١٧,١٩٣	١٧,٠٥٥
MnO	٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٣٥٢
MgO	١٤,٠٩	١٩,٠٣	١٢,٠٣٨	١١,١٨٩
CaO	١٣,٧٨	١٣,٩٦	١١,٥٣٨	١٠,٧٨٤
Na_2O	١,٨١	٢,٤٠	٠,٩١١	١,٢٢٦
K_2O	٠,٤٤	٠,٢٩	٠,٠٠٠	٠,٤٥١
المجموع	٩٧,٥٩	٩٨,٠١	٩٨,٢٣	٩٧,٨٨
كاتيونات=٢٣ ذرة أكسجين				
Si	٦,٠٧	٦,٤١	٧,٣٤٤	٦,٦٧٤
Ti	٠,٠٩	٠,٠٦	٠,٠٨	٠,١٥٦
Al	٢,٨٦	٢,٣٤	٠,٩١٥	١,٨٢٣
Fe^{2+}	٠,٩٣	٠,١٩	١,٦٦٧	٢,٠١٤
Mn	٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠٤٤
Mg	٣,٠٣	٣,٩٥	٢,٦١١	٢,٤٧٤
Ca	٢,١٣	٢,٠٨	١,٧٩٨	١,٧١٤
Na	٠,٥١	٠,٦٥	٠,٢٥٧	٠,٣٥٣
K	٠,٠٨	٠,٠٥	٠,٠٠	٠,٠٨٥

١= بارجازيت بالصخور الرسوبية المتحولة Metasediments بمنطقة القظة، المملكة العربية السعودية (دروب والفيلالي ١٩٩٦ Droop and Al-Filali).

٢= هورنبلند بارجازيتي بالصخور الرسوبية المتحولة بمنطقة القظة، المملكة العربية السعودية (دروب والفيلالي ١٩٩٦ Droop and Al-Filali).

٣= هورنبلند أكتينوليتي بصخور الأمفيبوليت بوادي جيثوا Wadi Jithwah، المملكة العربية السعودية (الفيلالي وعبد النبي ٢٠٠٣ Al-Filali and Abd El-Naby).

٤= هورنبلند ماغنيسيومي بصخور النيس بوادي جيثوا Wadi Jithwah، المملكة العربية السعودية (الفيلالي وعبد النبي ٢٠٠٣ Al-Filali and Abd El-Naby).

تابع جدول ٥-٥: التحليل الكيميائي للأمفيبول من مناطق مختلفة.

	٥	٦	٧	٨
SiO_2	٤٣,٩٢	٤٢,٤٢	٣٨,١٠	٥٩,١٦
TiO_2	٠,٩٦٦	٠,٣٨	٠,٠٨	٠,٠٠
Al_2O_3	١٣,١٧	١١,٥٥	٢٨,٤٠	٠,١٧
FeO	١٧,٩٨	٢٢,٦٨	٧,٦٤	٨,١٥
MnO	٠,١٧	٠,٦٠	٠,٢٥	٠,١٣
MgO	٩,٢١	٦,٩٩	٠,٠٧	٣٠,٣٠
CaO	١٠,٩٣	١٠,٨١	٢٤,٢٩	٠,٢٧
Na_2O	١,٢٥٢	١,٤٣	٠,٠٠	٠,٠٢
K_2O	٠,٥١٢	١,٥٧	٠,٠٢	٠,٠١
المجموع	٩٨,١١	٩٩,٥٤	٩٨,٨٥	٩٨,٢٢

كاتيونات=٢٣ ذرة أكسجين

	٥	٦	٧	٨
Si	٦,٥٢٨	٦,٥٢	٥,٥٠	٧,٩٦
Ti	٠,١٠٨	٠,٠٤	٠,٠١	٠,٠٠
Al	٢,٣٠٥	٢,٠٩	٤,٨٣	٠,٠٣
Fe^{2+}	٢,٣٠٥	٢,٩١	٠,٩٢	٠,٩٢
Mn	٠,٠٢١	٠,٠٨	٠,٠٣	٠,٠٢
Mg	٢,٠٤١	١,٦٠	٠,٠٢	٦,٧٣
Ca	١,٧٤١	١,٧٨	٣,٧٦	٠,٠٤
Na	٠,٣٦١	٠,٤٣	٠,٠٠	٠,٠١
K	٠,٠٩٧	٠,٣١	٠,٠٠	٠,٠٠

٥ = هورنبلند حديدي بصخور الامفيبوليت بمنطقة حفافيت، مصر (عبد النبي وفريش ، تحت التحضير In preparation).

٦ = هورنبلند إدينيتي حديدي بصخور النيس بمنطقة وادي حيمور-أبوسويل، جنوب الصحراء الشرقية، مصر (عبد النبي وفريش ٢٠٠٢ Abd El-Naby and Frisch)

٧= تشيرماكيت حديدي بصخور الهورنبلنديت بمنطقة وادي حيمور، جنوب الصحراء الشرقية، مصر (عبد النبي وفريش ٢٠٠٠ Abd El-Naby and Frisch)

٨= أنثوفيلليت بالصخور فوق المافية المجواه Altered ultramafic rocks بمنطقة وادي حيمور، جنوب الصحراء الشرقية، مصر (عبد النبي وفريش ٢٠٠٠ Abd El-Naby and Frisch)

الأنثوفيلليت Anthophyllite

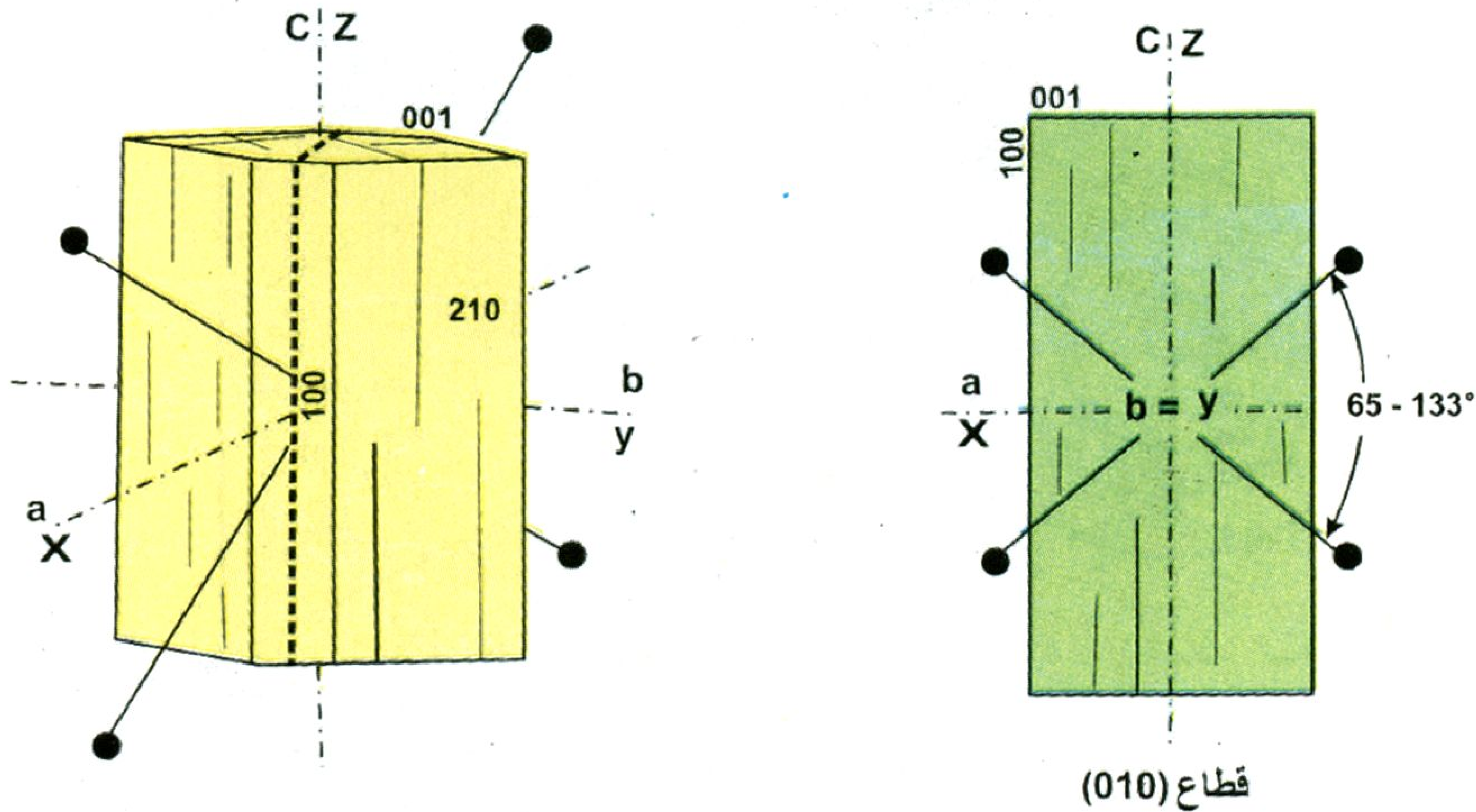


$(Mg,Fe)_7Si_8O_{22}(OH)_2$

أشتق اسم الأنثوفيلليت من الكلمة اللاتينية *anthophyllum* والتى تعني ورقة نبات القرنفل clove leaf ويرجع ذلك إلى لونه المشابه لهذا النبات.

الصفات البلورية

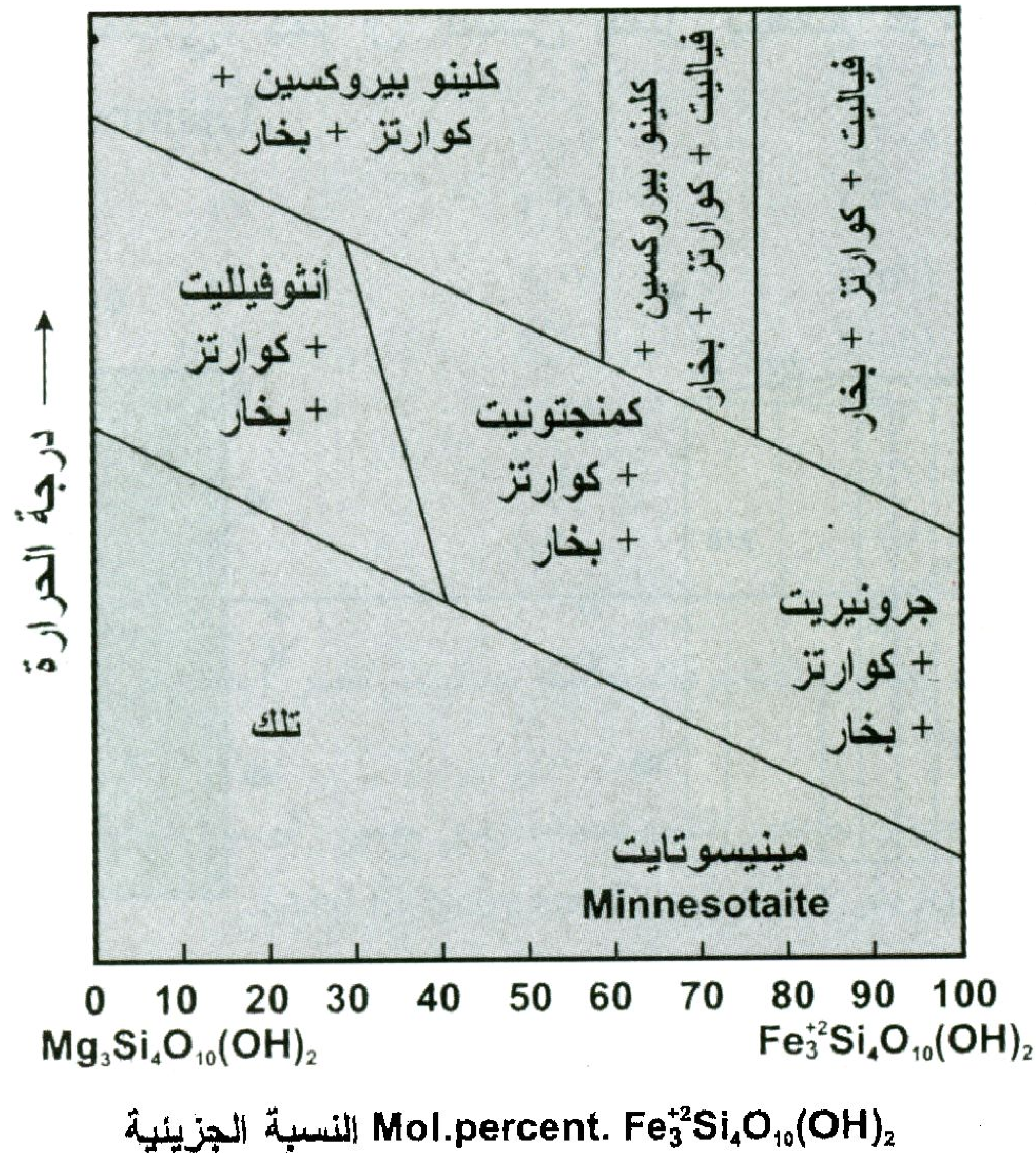
يعتبر الأنثوفيلليت متعدد شكلي للكمنجتونيت حيث يصعب التميز بينهما فى بعض الأحيان ولكن يختلف المعدنين فى نظامهما البلوري، حيث يتبلور الأنثوفيلليت فى فصيلة المعينى القائم، بينما يتبلور الكمنجتونيت فى فصيلة الميل الواحد. تبلغ أبعاد خلية الوحدة للأنثوفيلليت أ=١٨,٥٦، ب=١٨,٠٣، ج= ٥,٢٨ أنجستروم، مجموعة النقطة 2/m2/m2/m والمجموعة الفراغية *P*2/n2/m2/a. تتواجد بلورات المعدن عادةً على شكل منشورى (شكل ٥-٣٤) أو ليفى أو عمداني. كما أن المعدن يتميز بمقطع عرضي على شكل الألماس Diamond-shaped.



شكل ٥-٣٤: العلاقة بين المحاور البلورية (a, b , c) ومحاور مجسم معامل الإنكسار (X, Y , Z) فى بلورة لمعدن الأنثوفيلليت.

كيميائية المعدن

يمثل كل من الأنثوفيلليت والجيدريت سلسلة محلول صلب متصلة وخصوصاً عند درجات الحرارة العالية، ولكن تقل نسبة الإمتراج بينهما عند درجات الحرارة المنخفضة ويظهر عندئذ الجيدريت على شكل شرائح Lamellae موازية للوجهين (010) و (021) بالأنثوفيلليت والعكس صحيح. يمثل التبادل الأيوني للحديد والماغنسيوم التفاعل الرئيسي لهذه السلسلة التى تمتد من التركيب $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$ إلى $Fe_3^{+2}Si_4O_{10}(OH)_2$ ويحدث نوع من الإحلال بدرجة أقل للسيليكون بالألومنيوم ومن هنا يوجد نوعين من الأنثوفيلليت والجيدريت، أحدهما غني بالألومنيوم والأخر فقير فيه. يتضح من الشكل رقم (٥-٣٥) مدى التطابق فى التركيب الكيميائى بين الأنثوفيلليت والكمنجتونيت عند نسبة ٣٠ إلى ٤٠% من $Fe_3^{+2}Si_4O_{10}(OH)_2$. كما يوضح الرسم تأثير درجات الحرارة على مدى إستقرارية الأنثوفيلليت، حيث ينتهى

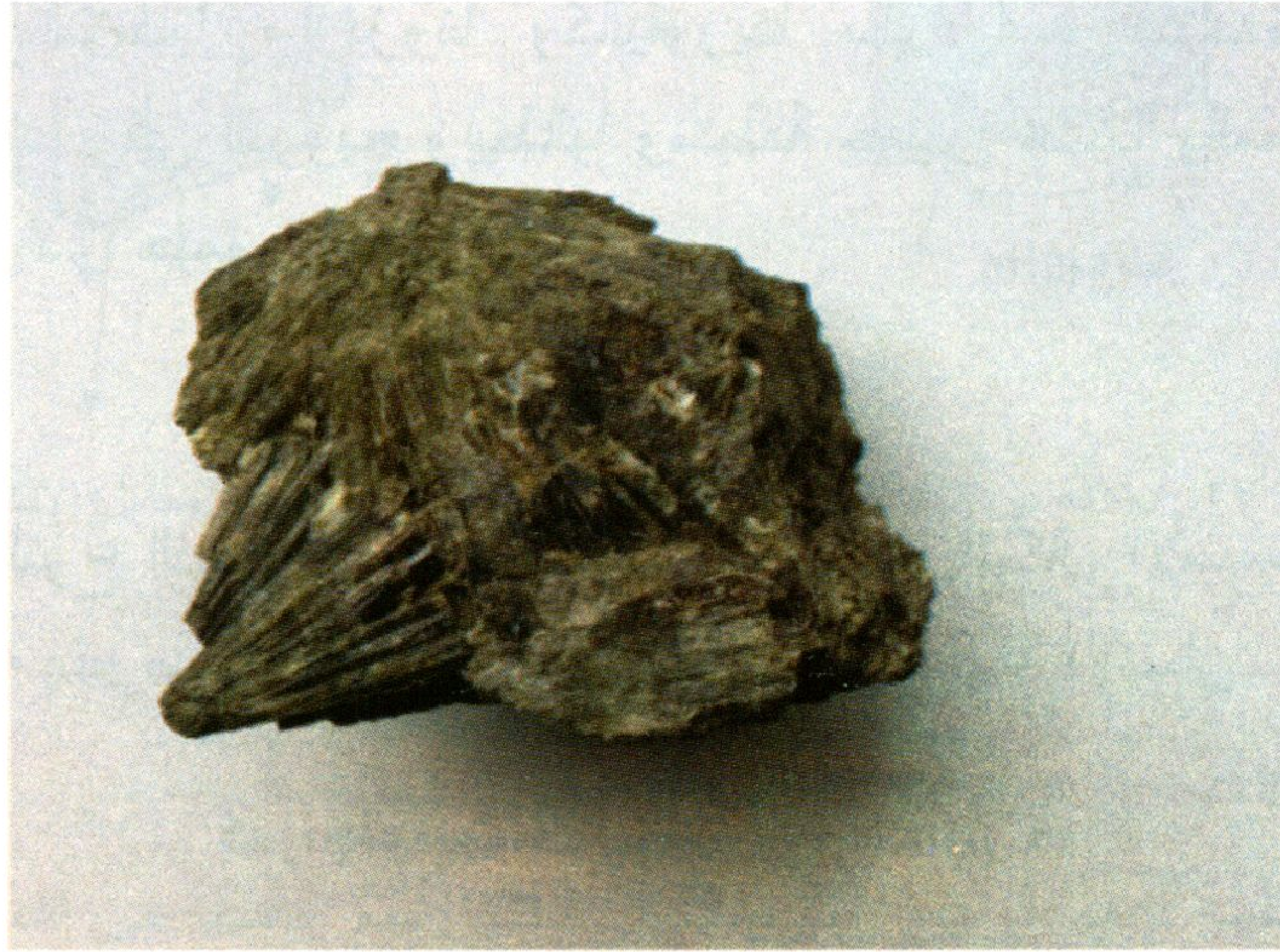


شكل ٥-٣٥: مخطط إفتراضي يظهر الأصناف المتكونة إثر تبادل أيــونى الحديــد والماغنــسيوم للتركيب $Fe_3^{+2}Si_4O_{10}(OH)_2 - Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$ (بويد ١٩٥٩ Boyd).

بإنخفاض درجات الحرارة إلى تكّون التلك، بينما مع زيادة درجة الحرارة فأنه يتحلل إلى كلينوبيروكسين وكوارتز وبخار. قد يتواجد الصوديوم والألومنيوم بالتركيب الكيميائى للأنثوفيلليت (جدول ٥-٥). لو إزداد المحتوى الألومنيومى بالدرجة الكافية، فإن هذا النوع من الأمفيبول يسمى جيدريت.

الصفات الفيزيائية والبصرية

يُظهر الأنثوفيلليت درجات مختلفة من الألوان مثل البني والبني المصفر والبنى المخضر أو الرمادى البني، كما يظهر أيضاً اللون الأصفر أو الرمادى (شكل ٥-٣٦). البريق عادةً زجاجي إلى حريرى بالأشكال الليفية. المخدش بني. تتراوح الصلادة بين ٥,٥ و ٦. الإنفصام جيد فى إتجاهين بينهما زوايا ٥٦° و١٢٤° ومكوناً أشكال وتدية. يتراوح الوزن النوعي بين ٢,٩ و٣,٤.



شكل ٥-٣٦: بلورات شعاعية بنية اللون من الأنثوفيلليت.
http://ocw.mit.edu/ans7870/12/12.108/f04/imagegallery/lab3/lab3-11.html

يبدو الأنثوفيلليت عديم اللون بالقطاعات الرقيقة وقد يظهر أيضاً باللون البني الفاتح أو الأخضر مع تغير لوني ضعيف. كما يظهر ألوان تداخل تصل إلى الرتبة الثانية. يصعب التمييز بينه وبين الجيدريت تحت الميكرسكوب، ولكن يمكن تمييز الأنثوفيلليت عن الأنواع الأخرى من الأمفيبول أحادي الميل بالإنطفاء المتوازى Parallel extinction. الأنثوفيلليت ثنائى المحور (موجب

أو سالب)، معاملات الانكسار ألفا (α)=١,٦٠ وبيتا (β)= ١,٦٢ وجاما (γ)=١,٦٣ وقرينة الانكسار المزدوج (δ) =٠,٠٣ والزاوية البصرية ($2V$)= ٦٥°- ١٣٣°.

التواجدات والصحبة المعدنية

يتكون الأنثوفيلليت من جراء تحول منخفض الدرجة لصخور نارية أو رسوبية غنية بالماغنسيوم حيث يكون مصاحباً لمعادن الأمفيبول الأخرى والتلك والفلوجوبيت والبيروب والكورديريت. كما يمكن أن يتكون الأنثوفيلليت من جراء تفاعلات تراجعية لمعادن متحولة أخرى أو من عمليات تحوال Metasomatism لمعادن مثل الأوليفين بالصخور فوق المافيه عند تعرضه للضغط في وجود وفرة من الماء. يتواجد المعدن فى أماكن كثيرة من العالم منها: مونتانا وأريزونا وكاليفورنيا بالولايات المتحدة الأمريكية وأونتاريو بكندا وفي النرويج وإيطاليا ومنطقة خميس مشيط بالمملكة العربية السعودية ووادي حيمور بمصر.

الاستخدامات

يستخدم النوع الليفي من الأنثوفيلليت كشكل من أشكال الأسبستوس والذى ينصح بتداوله بحرص لما له من أثار جانبية على صحة الإنسان.

كمينجتونيت Cummingtonite

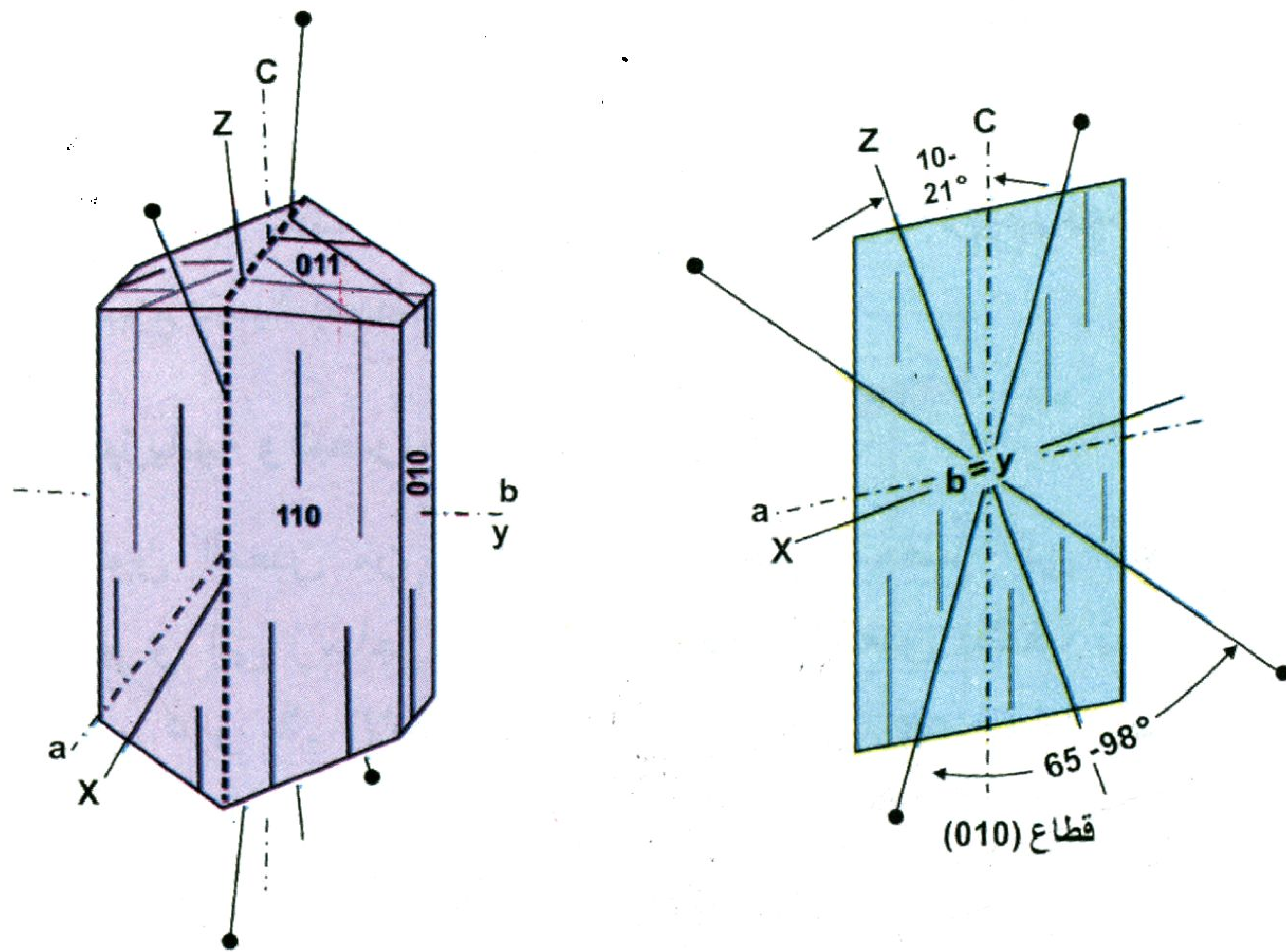

$(Mg,Fe)_7Si_8O_{22}(OH)_2$

أشتق اسم المعدن من مكان تواجده بمنطقة كمينجتون، ماساشوسيتس، الولايات المتحدة الأمريكية Cummington, Massachusetts, USA.

الصفات البلورية

يتبلور الكمينجتونيت فى فصيلة الميل الواحد، حيث تبلغ أبعاد خلية الوحدة: أ=٩,٥١، ب=١٨,١٩، ج= ٥,٣٣ أنجستروم (شكل ٥-٣٧)

ومجموع ما تملكه خلية الوحدة من ذرات (Z)=٢. مجموعة النقطة 2/m والمجموعة الفراغية *C2/m*. يشبه الكمينجتونيت معدن الأنثوفيلليت فى الهيئة البلورية حيث يتواجد على شكل منشورى أو ليفى أو شعاعى.



شكل ٥-٣٧: العلاقة بين المحاور البلورية (a, b , c) ومحاور مجسم معامل الإنكسار (X, Y , Z) فى بلورة لمعدن الكمينجتونيت.

كيميائية المعدن

تحمل كلمة كمينجتونيت اسم معدن وأيضاً اسم سلسلة من المعادن. تشتمل هذه السلسلة على الجرونيريت والكمينجتونيت الماغنسيومى ويتوسطهما الكمينجتونيت. يحمل الثلاث معادن نفس الصيغة الكيميائية $(Mg,Fe)_7Si_8O_{22}(OH)_2$ ويكمن الإختلاف بينهما فى نسبة الحديد إلى الماغنسيوم. يعتبر الجرونيريت المعدن الغنى بالحديد فى هذه السلسلة، حيث تتراوح نسبة الماغنسيوم إلى مجموع كل من الماغنسيوم والحديد [Mg/(Mg+Fe)] بين صفر و٠,٢٩، وكما هو واضح من اسم الكمينجتونيت الماغنسيومى، فأنه الحالة الأكثر غنى فى الماغنسيوم حيث تتراوح نسبة

المحتوى الماغنسيومي [Mg/(Mg+Fe)] من ٠,٧ إلى ١,٠. ويتوسط الكمينجتونيت بحكم موقعه فى هذه السلسلة تلك النسبة حيث تتراوح مابين ٠,٣ و٠,٦٩. ويعتبر الكمينجتونيت أكثر معادن هذه السلسلة إنتشاراً. كما تتشابه الصيغة الكيميائية للكمينجتونيت مع معدن الأنثوفيلليت كما أشرنا إلى ذلك فى الجزء الخاص بالأنثوفيلليت. يمكن أن يحدث نوع من الإحلال البسيط للمنجنيز محل الماغنسيوم والحديد ويتكون بذلك الكمينجتونيت الغنى بالمنجنيز ويحدث ذلك غالباً تحت ظروف تحول عالية الدرجة. كما يمكن أن يتواجد أيضاً الكالسيوم بنسبة بسيطة.

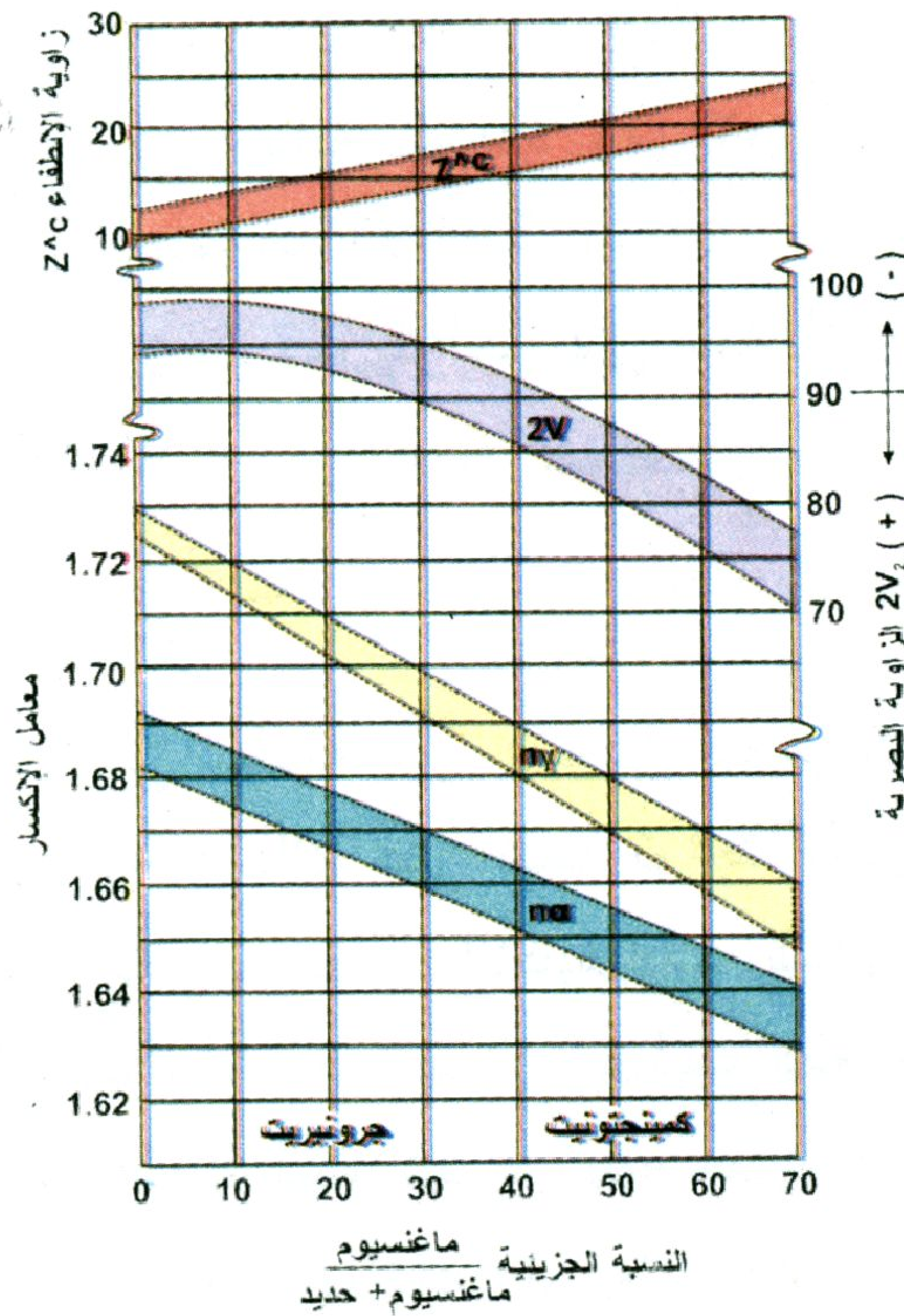
الصفات الفيزيائية والبصرية

يتغير لون المعدن من رمادى غامق، بنى مخضر إلى أخضر غامق. البريق حريرى إلى زجاجى. المخدش أبيض. المعدن نصف شفاف. تتراوح الصلادة بين ٥ و ٦. الإنفصام جيد فى إتجاهين عند زوايا مقدارها ٥٦ و ١٢٤ درجة. يتراوح الوزن النوعي بين ٣,١ و ٣,٦. تتراوح التضاريس تحت الميكرسكوب بين متوسطة إلى عالية موجبة. تقل معاملات الانكسار وقرينة الانكسار المزدوج والزاوية البصرية، بينما تزداد قيمة زاوية الإنطفاء، مع زيادة المحتوى الماغنسيومى (شكل ٥-٣٨). ويفسر هذا الإختلاف بين الجرونيريت والكمينجتونيت حيث أن الأول سالب بصرياً والثانى موجب. الكمينجتونيت ثنائى المحور موجب، معاملات الانكسار ألفا (α)=١,٦٣٠-١,٦٩٦ وبيتا (β)= ١,٦٣٨-١,٧٠٩ وجاما (γ)=١,٦٥٥-١,٧٢٩ وقرينة الانكسار المزدوج (δ)=٠,٠٢٠-٠,٠٤٥ والزاوية البصرية ($2V$)= ٦٥- ٩٨°.

التواجدات والصحبة المعدنية

يعتبر الكمينجتونيت من المعادن الشائعة بصخور التحول الأقليمى. ومع زيادة درجة التحول فأنه يحدث إنحلال للمعدن ليعطى بيروكسين أو أوليفين (انظر شكل ٥-٣٥). كما يتواجد المعدن فى تكوينات الحديد المتحولة وفى بعض الصخور مثل الجابرو والنوريت ونادراً مايوجد بالصخور البركانية

الحامضية. يصاحب الكمينجتونيت معادن الأمفيبول الأخرى مثل الهورنبلند والأنثوفيلليت والأكتينوليت والتريموليت ومعادن أخرى مثل الجارنت والكوارتز والجلوكوفان. ومن أشهر أماكن تواجده منطقة كمينجتون Cumington ومقاطعة هامبشير Hampshire County وولاية جنوب داكوتا South Dakota بالولايات المتحدة الأمريكية. كما يوجد أيضاً بإسكتلندا وجنوب أفريقيا والسويد وبصخور النيس المتحولة بمنطقة خميس مشيط بالمملكة العربية السعودية.



شكل ٥-٣٨: تغير معاملات الإنكسار وزاوية الإنطفاء والزاوية البصرية بتغير المحتوى الماغنيسيومي بسلسلة الكيمنجتونيت-الجرونيريت (فينشيل ١٩٣٨ Winchell، دير وأخرون ١٩٦٣ Deer et al.، كلاين ١٩٦٤ Klein).

الاستخدامات

يمكن أن يستخدم أحد أنواع الكمينجتونيت ويسمى أموسيت/مونتاسيت Amosite/Montasite كبديل للأسبستوس والذى يستخدم فى كثير من الصناعات رغم مخاطره الصحية.

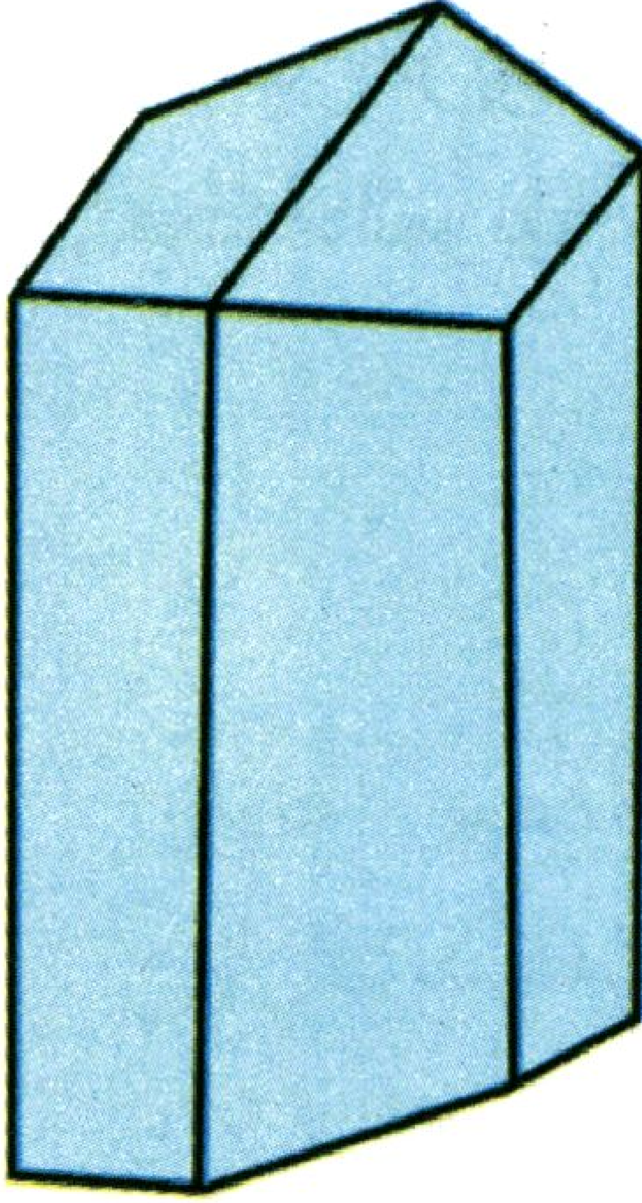
التريموليت Tremolite



$Ca_2Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2$

يرجع اسم المعدن إلى منطقة فال تريمولا Val Trimola بسويسرا حيث تم إكتشافه لأول مره.

الصفات البلورية



يتبلور المعدن بفصيلة الميل الواحد، حيث تبلغ أبعاد خلية الوحدة أ=٩,٨٦، ب=١٨,١١، ج=٥,٣٤ أنجستروم ومجموع الذرات بخلية الوحدة (Z)=٢، مجموعة النقطة 2/m والمجموعة الفراغية *C*2/m . يتخذ المعدن الشكل المنشورى، كما يتواجد على هيئة ليفية أو شعاعية أو عمدانية.

كيميائية المعدن

ينتمى التريموليت إلى سلسلة من المعادن تضم كل من الأكتينوليت والأكتينوليت الحديدى. يعتمد ذلك على نسبة تواجد الحديد إلى الماغنسيوم، فعندما يسود الحديد، يتكون معدن الأكتينوليت الحديدى، وعندما يسود الماغنسيوم يتكون التريموليت ويتوسط الأكتينوليت المعدنين السابقين. يعتبر التريموليت أكثر معادن هذه السلسلة شيوعاً، يليه معدن الأكتينوليت. يتم تمثيل السلسلة ككل بالصيغة الكيميائية $Ca_2(Mg,Fe)_5Si_8O_{22}(OH)_2$.

يعتبر التريموليت من المعادن المتحولة حيث يتواجد بكثرة بالصخور الجيرية الدولوميتية المتحولة، وينتج من التفاعل التالي:

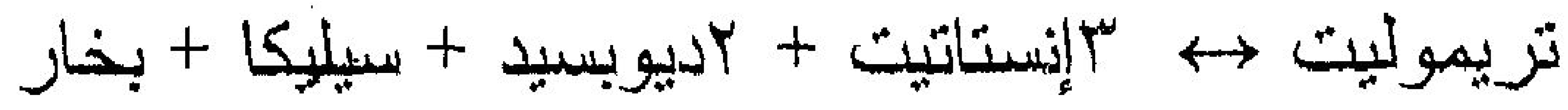


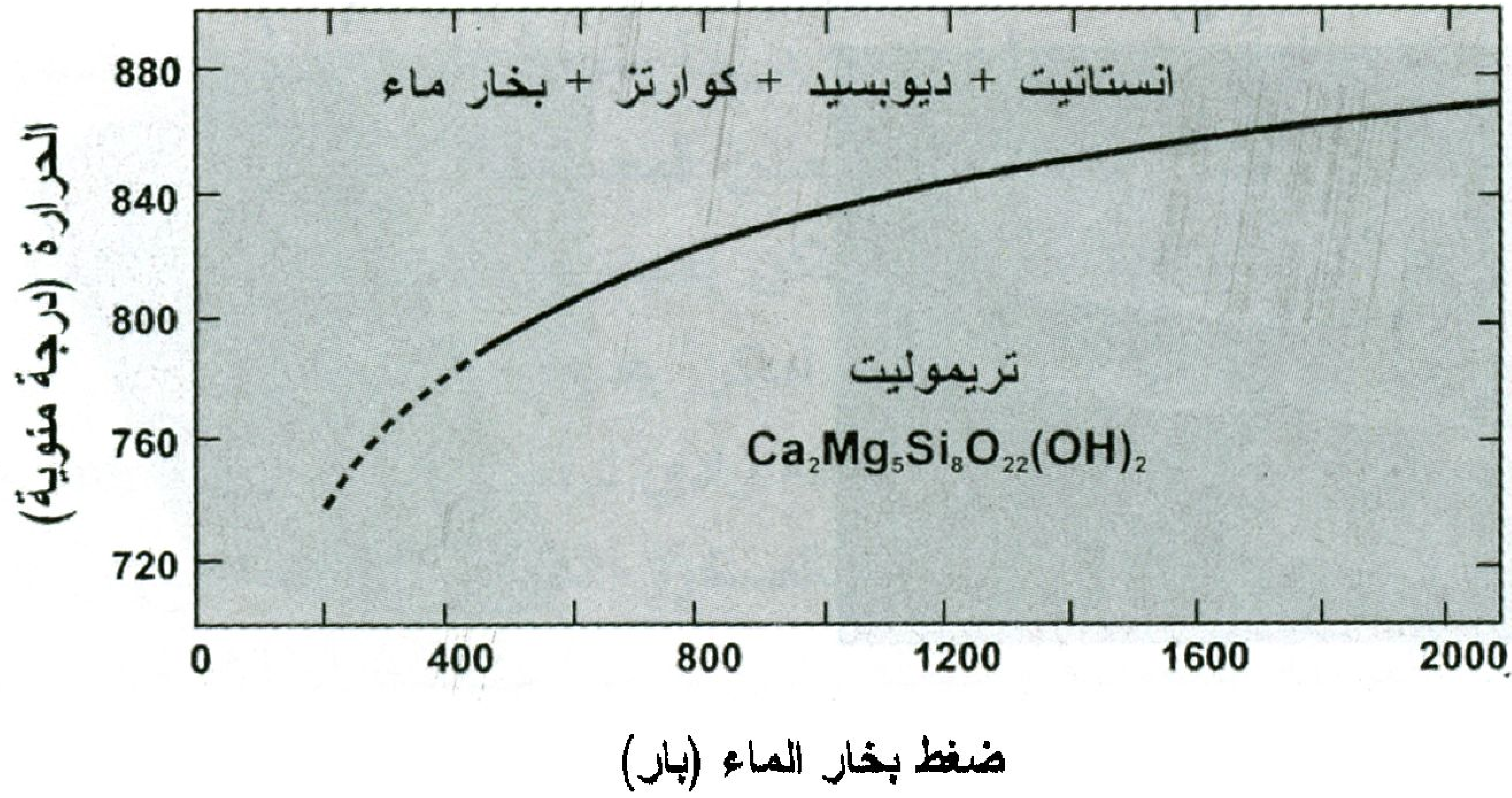
$$CaMgCO_3 + 8SiO_2 + H_2O \rightarrow Ca_2Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2 + 3CaCO_3 + 7CO_2$$

دولوميت كوارتز تريموليت كالسيت

يعتبر معدن التريموليت مستقراً عند مدى حرارى يتراوح مابين ٤٠٠- ٩٠٠ درجة مئوية عند ضغط بخار ماء يتراوح بين ٤٠٠-٢٠٠٠ بار (شكل

٥-٣٩). يحدث للتريموليت نوع من الإنحلال مع رفع درجة الحرارة ليعطي إنستاتيت وديوبسيد وكوارتز وماء حسب المعادلة:





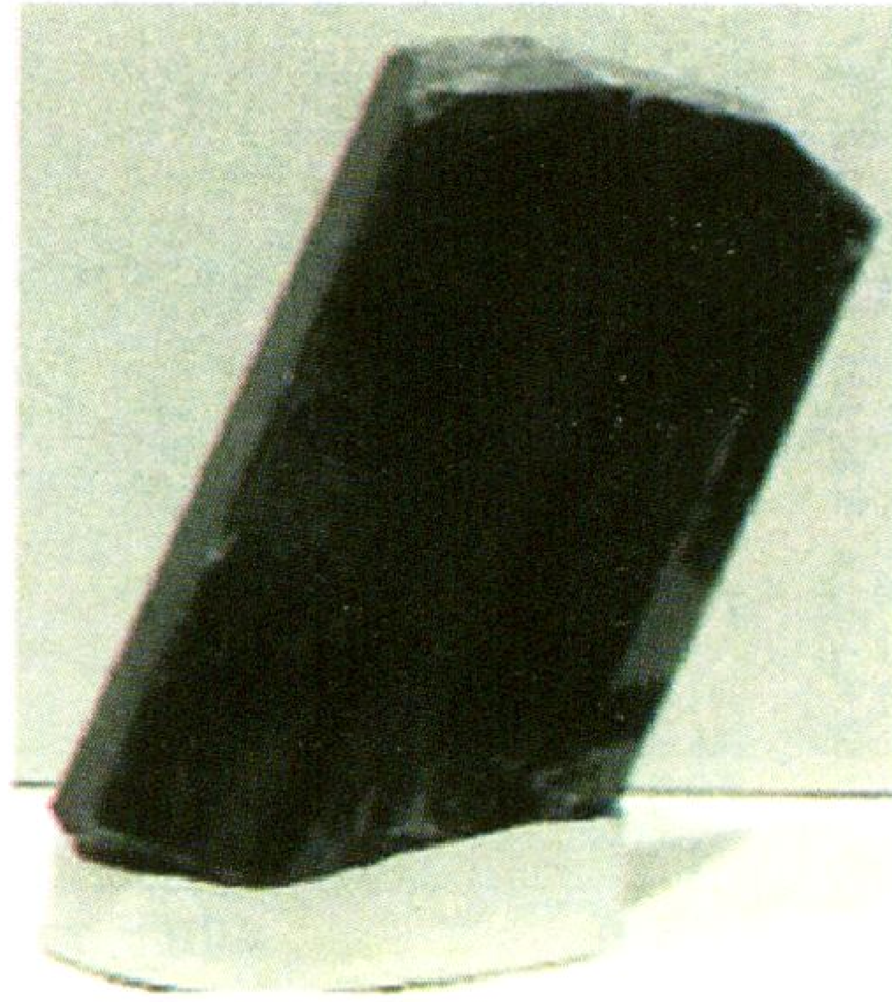
شكل ٥-٣٩: منحنى الإتزان للتفاعل تريموليت ↔ ٣إنستاتيت + ٢ديوبسيد + سيليكا + بخار ماء، (بويد ١٩٥٤ Boyd).

الصفات الفيزيائية والبصرية

يتغير لون المعدن من أبيض إلى رمادى أو أخضر حسب نسبة الحديد (شكل ٥-٤٠). يكون لون المعدن أبيض تماماً بالأنواع النقية والتى ليس بها أى نسبة من الحديد ولكن مع دخول الحديد بالبنية البلورية، فأنه يعطى ألوان تميل إلى اللون الأخضر والوردى. البريق حريرى أو زجاجى إلى قاتم. المخدش أبيض. المعدن شفاف إلى نصف شفاف. تتراوح الصلادة بين ٥ و٦. الإنفصام منشوري كامل {110} بزوايا قدرها ٥٦° و١٢٤°. يتراوح الوزن النوعي بين ٢,٩ و ٣,١. تحت الضوء المستقطب، يكون المعدن عديم اللون إلى أخضر شاحب. يُظهر التريموليت زاوية إنطفاء تتراوح بين١٠° إلى٢١°. كما يتميز التريموليت بألوان تداخل تصل إلى الرتبة الثانية. تزداد معاملات الانكسار من التريموليت إلى الأكتينوليت والأكتينوليت الحديدي مع زيادة المحتوى الحديدي (شكل ٥-٤١) بينما تقل قيمة الزاوية البصرية $2V$

وزاوية الإنطفاء بدرجة طفيفة مع زيادة هذا المحتوى. التريموليت ثنائى المحور سالب، معاملات الانكسار ألفا (α)= ١,٦٠٨ وبيتا (β)= ١,٦١٨ وجاما (γ)=١,٦٣٠ وقرينة الانكسار المزدوج (δ)=٠,٠٢٢ والزاوية البصرية ($2V$)= ٨٥°.

(أ)



(ب)



(ج)



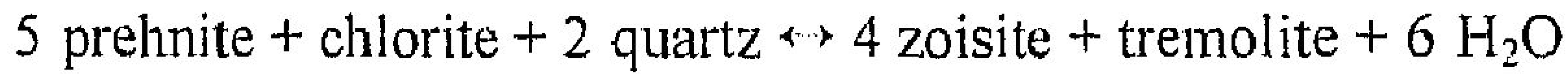
(د)



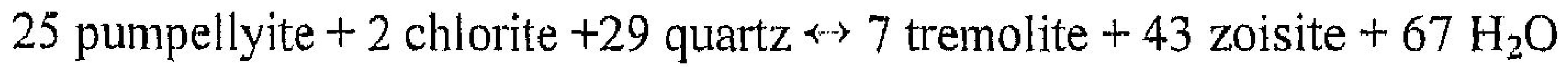
شكل ٥-٤٠: (أ) هيئة منشورية للتريموليت (hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/.../asbestos.html). (ب) تريموليت أبيض اللون (ج) هيئة شعاعية للتريموليت (د) تريموليت غني بالكروميوم مع كالسيت (أبيض اللون).

التواجدات والصحبة المعدنية

يتواجد التريموليت كمعدن متحول بالصخور ذات التحول الإقليمى والتلامسي. ففي حالة التحول الأقليمي للصخور المافية، ينتج التريموليت من إنحلال البيرهنيت في الضغوط المنخفضة (أقل من ٣ كيلو بار) وإنحلال اليمبيليت عند ضغط أعلى (أكثر من ٣ كيلو بار) حسب التفاعلات الآتية :

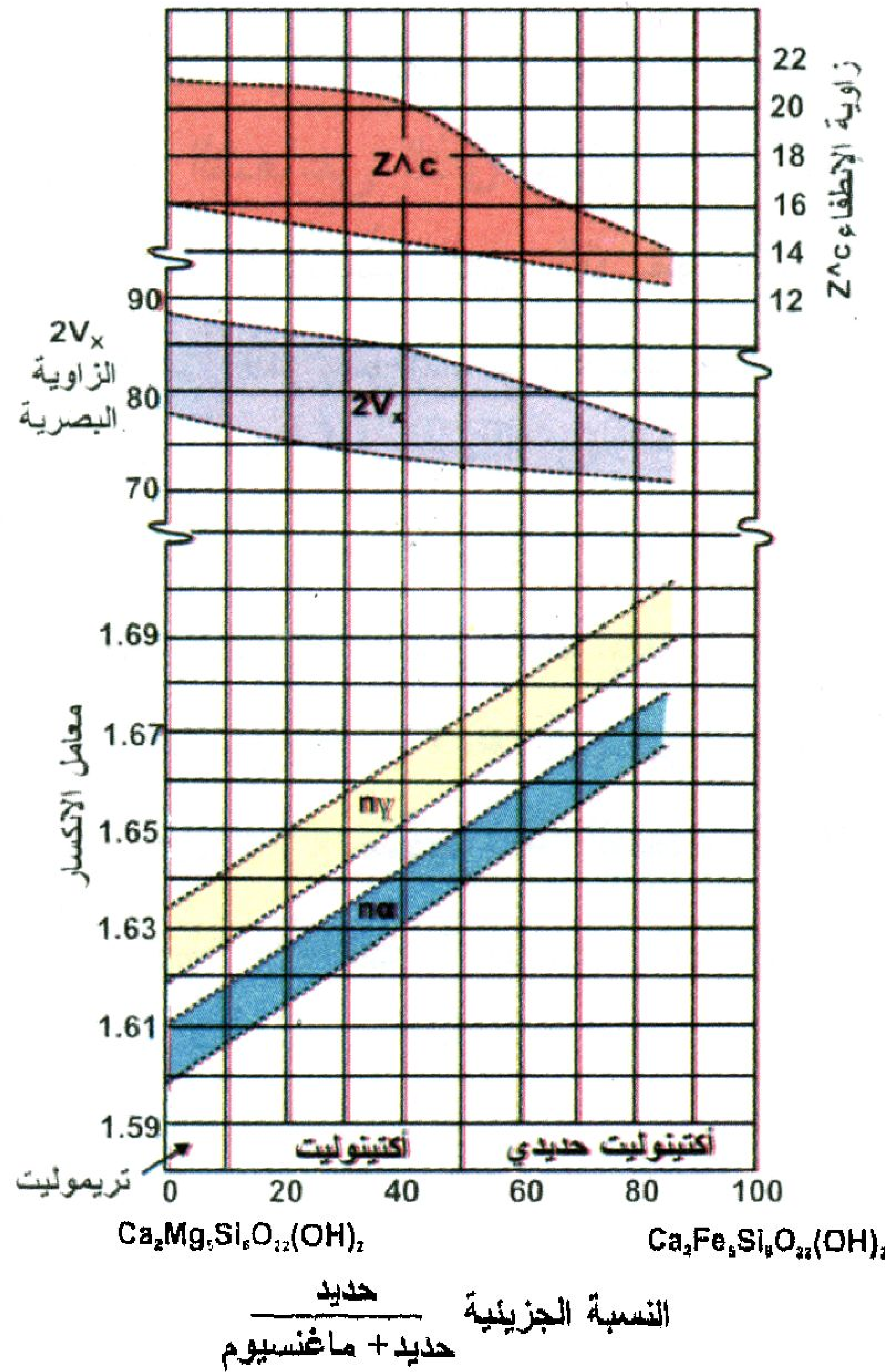

5 prehnite + chlorite + 2 quartz ↔ 4 zoisite + tremolite + 6 H_2O

بيرهنيت كلوريت كوارتز زوسيت تريموليت


25 pumpellyite + 2 chlorite +29 quartz ↔ 7 tremolite + 43 zoisite + 67 H_2O

بمبيليت كلوريت كوارتز تريموليت زوسيت

وفي حالة التحول التلامسي لصخور الحجر الجيري الدولوميتى السيليكاتى، يتكون التريموليت عند حوالي ٥٠٠ درجة مئوية علـى حساب كل من الكوارتز والكالسيت والتلك. من المعادن المصاحبة: كالسيت وجروسيلار وتلك وسربنتين. يتواجد المعدن بأماكن عديدة من العالم: منطقة ويلبرفورز Wilberforz وأونتاريو بكندا، وفى أماكن عديدة بالولايات المتحدة الأمريكية وفى سويسرا حيث تم إكتشافه بمنطقة وادي تريمولا Tremola Valley وفى تنزانيا وفنلندا. كما يتواجد المعدن بالصخور المتحولة بمنطقة خميس مشيط بالمملكة العربية السعودية ومنطقة وادى حيمور بالصحراء الشرقية، مصر.



شكل ٥-٤١: تغير معاملات الانكسار وزاوية الإنطفاء والزاوية البصرية بتغير المحتوى الماغنسيومي بسلسلة التريموليت-الأكتينوليت الحديدي (فينشيل ١٩٤٥ Winchell، دير وآخرون ١٩٦٣ Deer et al.).

الاستخدامات

يستخدم النوع الليفي من التريموليت فى صناعة الأسبستوس، شأنه كشأن أنواع الأسبستوس الأخرى من ناحية المخاطر الصحية ولايجب إقتراب عيناته للفم والأنف حيث هناك إمكانية للإصابة بسرطان الرئة. لذلك فأنه ينصح التداول مع مثل هذه العينات بحرص وغسل اليد جيداً بعد تداولها. كما يستخدم التريموليت كعازل حراري فى الأجهزة الحرارية وذلك لعدم تأثره بالحريق وأنه موصل ضعيف للحرارة. ولكن لم يعد يستخدم فى هذه التطبيقات بعد إكتشاف مخاطره الصحية على الأنسان.

الأكتينوليت Actinolite


$Ca_2(Fe,Mg)_5Si_8O_{22}(OH)_2$

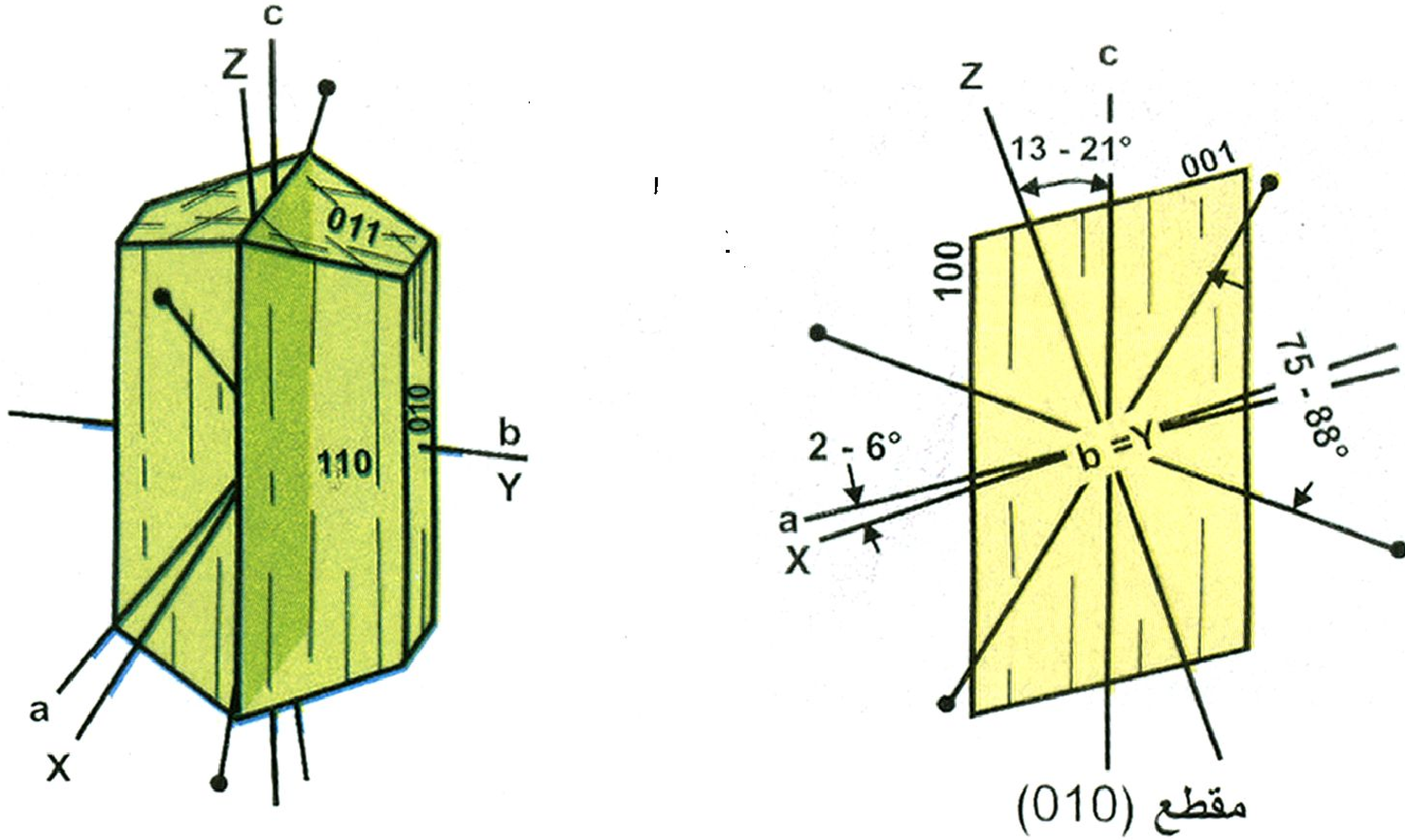
يأتى اسم الأكتينوليت من الكلمة الإغريقية *actis* والتى تعنى شعاعي، نسبةً إلى الشكل الإبرى الشعاعي الذى يتميز به الأكتينوليت. كما تم الإشارة فى الفقرات السابقة عند الحديث عن التريموليت، فأن الأكتينوليت يمثل العضو الأوسط بين معدني التريموليت والأكتينوليت الحديدي.

الصفات البلورية

يتبلور المعدن فى فصيلة الميل الواحد، وتبلغ أبعاد خلية الوحدة: أ=٩,٨٤، ب= ١٨,٠٥، ج = ٥,٢٧ أنجستروم (شكل ٥-٤٢). مجموع الذرات بخلية الوحدة (Z)=٢، مجموعة النقطة 2/m والمجموعة الفراغية *C2/m*. يتميز الأكتينوليت بالشكل الإبري، كما يوجد على شكل كتلى أو عمداني.

كيميائية المعدن

يمثل الأكتينوليت تركيب كيميائى يتوسط كل من التريموليت $Ca_2 Mg_5 Si_8O_{22} (OH)_2$ والأكتينوليت الحديدى $Ca_2 Fe_5 Si_8 O_{22} (OH)_2$. يتواجد كل من المنجنيز والألومنيوم والكروميوم والفلورين بنسب بسيطة.



شكل ٥-٤٢: العلاقة بين المحاور البلورية (a, b , c) ومحاور مجسم معامل الإنكسار (X, Y , Z) فى بلورة لمعدن الأكتينوليت.

الصفات الفيزيائية والبصرية

يعتمد لون الأكتينوليت بدرجة كبيرة على نسبة الحديد ببنيتة البلورية حيث يُظهر المعدن درجات متفاوتة من اللون الأخضر (شكل ٥-٤٣). أحياناً يحدث نوع من الخلط فى العينات اليدوية بين الأكتينوليت والإبيدوت وذلك لتشابه لونهما. البريق زجاجي والمخدش أبيض. المعدن شفاف إلى نصف شفاف. تتراوح الصلادة بين ٥ و ٦ والوزن النوعي بين ٢,٩ و ٣,٣. تتشابه الصفات البصرية للأكتينوليت مع التريموليت، ولكن يتميز الأكتينوليت بشدة أكثر في اللون والتغير اللوني. المعدن ثنائى المحور سالب، حيث ألفا (α)= ١,٦٦- ١,٦٧ وبيتا (β)= ١,٦٢- ١,٦٨ وجاما (γ)= ١,٦٣-١,٦٩. قرينة الانكسار المزدوج (δ) = ٠,٠٣ والزاوية البصرية ($2V$)= ٧٥- ٨٨°. تزداد معاملات الانكسار مع زيادة نسبة المحتوى الحديدي (انظر شكل ٥-٤١).

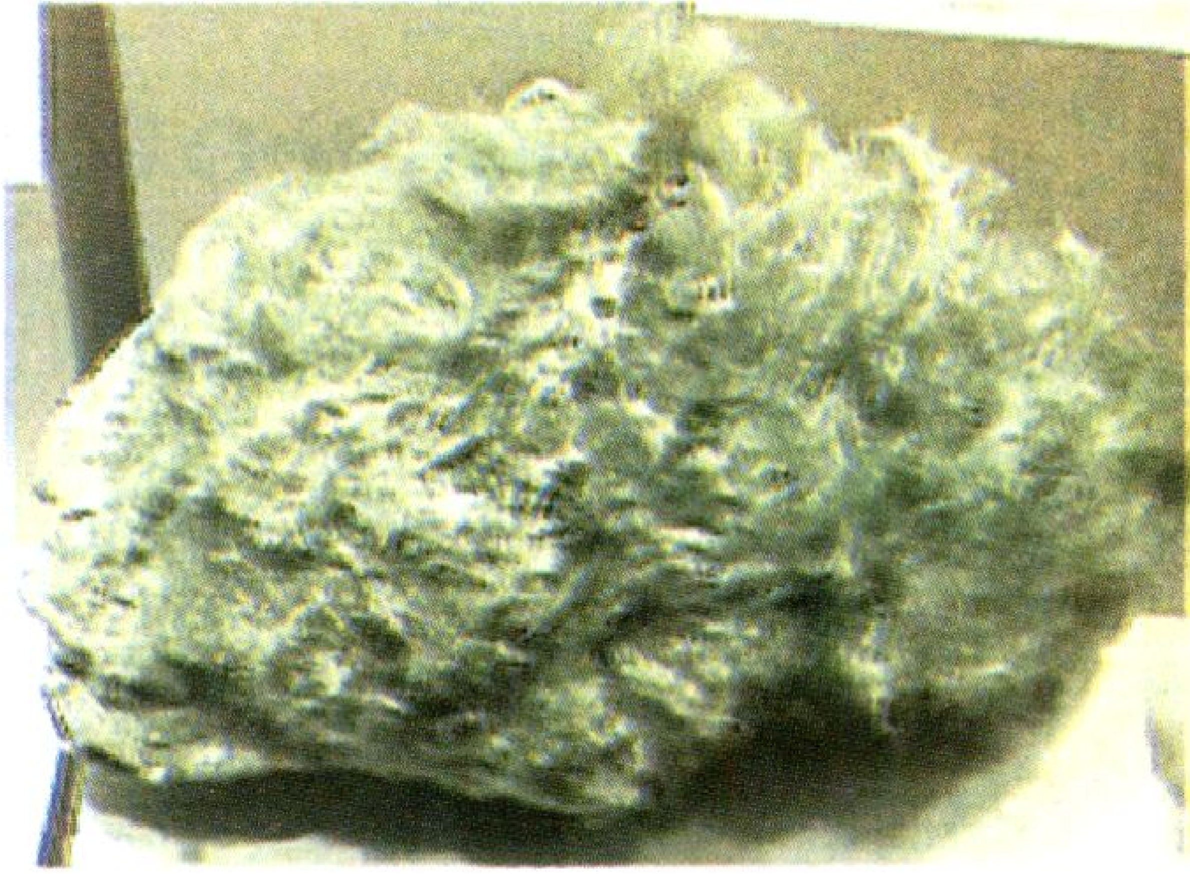
(أ)



(ب)



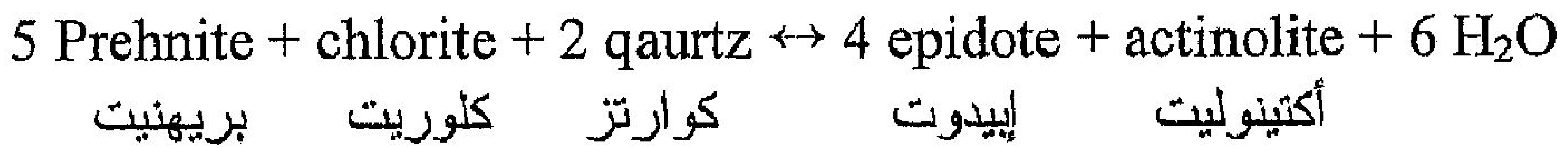
(ج)



شكل ٥-٤٣: (أ) بلورات منشورية للأكتينوليت بصحبة الكوارتز (www.brhounds.com/name/A.html). (ب) هيئة إبرية شعاعية للأكتينوليت (www.a-m.de/.../aktinolith-bild1.htm). (ج) هيئة ليفية لأكتينوليت أخضر فاتح.

التواجدات والصحبة المعدنية

يتواجد الأكتينوليت بالصخور المافية المتحولة ويمثل أحد المعادن التى تعكس اللون الأخضر لسحنة الشيست الأخضر. يتكون الأكتينوليت من تفاعل البريهنيت والكلوريت والكوارتز عند ٢٨٠ ±٣٠ درجة مئوية وضغط ٢ - ٣ كيلو بار حسب التفاعل:



$$5\ \text{Prehnite} + \text{chlorite} + 2\ \text{qaurtz} \leftrightarrow 4\ \text{epidote} + \text{actinolite} + 6\ H_2O$$

بريهنيت كلوريت كوارتز إبيدوت أكتينوليت

من المعادن المصاحبة: ألبيت وإبيدوت وكلوريت وكوارتز. يتواجد المعدن في بلدان عديدة، منها: روسيا والصين وينوزلاندا وكولومبيا وكندا وتايوان والمملكة العربية السعودية ومصر.

الاستخدامات

تتشابه استخدامات الأكتينوليت مع استخدامات التريموليت.

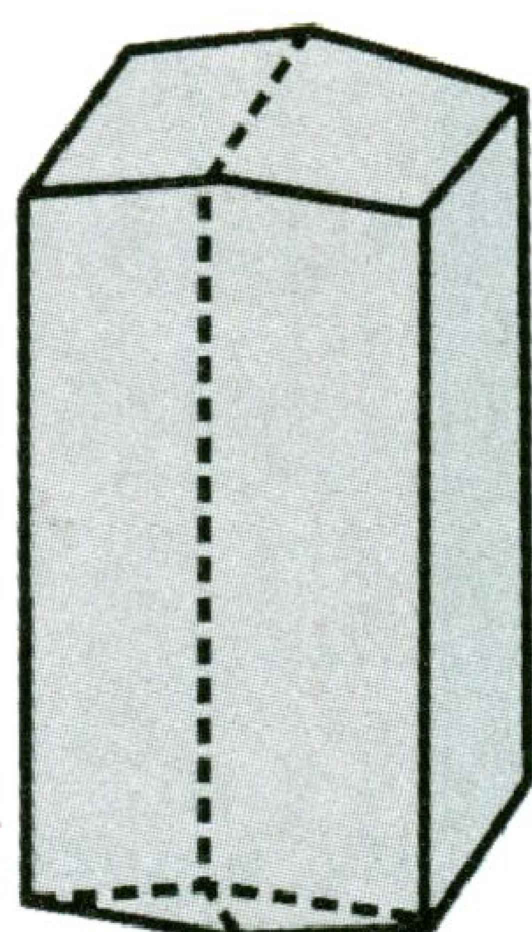


جلوكوفان Glaucophane

$Na_2Mg_3Al_2Si_8O_{22}(OH)_2$

يأتى اسم المعدن من كلمات إغريقية تعنى "مظهر أزرق اللون"، ويرجع ذلك إلى اللون الأزرق للجلوكوفان. يتشابه المعدن مع الريبيكيت فى هذا اللون.

الصفات البلورية



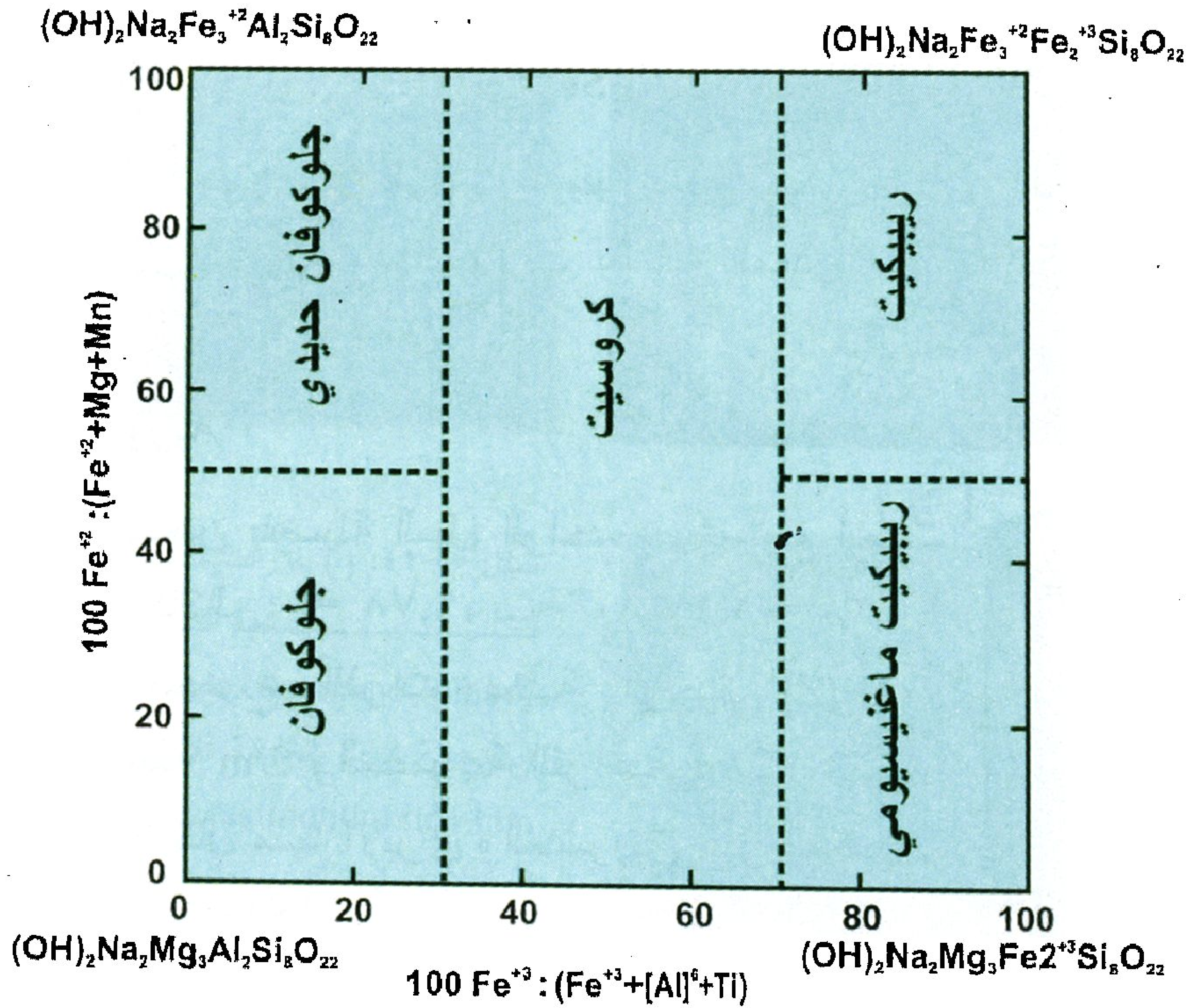
يتبلور المعدن بفصيلة الميل الواحد، حيث تبلغ أبعاد خلية الوحدة كالتالى: أ= ٩,٧٨، ب= ١٧,٨٠، ج=٥,٣٠ أنجستروم. مجموع الذرات بخلية الوحدة (Z)=٢، مجموعة النقطة 2/m والمجموعة الفراغية *C*2/m. يتخذ المعدن عدة أشكال منها الإبرى والمنشورى غير المكتمل والليفى والحُبيبى والكتلي.

كيميائية المعدن

يكّون الجلوكوفان سلسلة من محلول صلب مع معدن الجلوكوفان الحديدى Ferro glaucophane. يعتبر الجلوكوفان هو المعدن الغنى بالماغنسيوم فى هذه السلسلة، بينما يمثل الجلوكوفان الحديدى المعدن الغنى بالحديد. يتشابه المعدنان فى العديد من الصفات، ولكن الجلوكوفان الحديدى يعد أكثر كثافة من الجلوكوفان وذلك لإحتوائه على نسبة عالية من الحديد والتي تزيد أيضاً من درجة غمقان لونه.

رغم أن الجلوكوفان يمثل المعدن الغنى بالماغنسيوم، إلا أنه يحتوى أيضاً على نسبة من الحديد الثنائى الذى يحل محل الماغنسيوم، ونسبة من الحديد الثلاثى الذى يحل محل الألومنيوم. عندما يحلا الحديد الثنائى والثلاثى محل

معظم الماغنسيوم والألومنيوم يسمى المعدن فى هذه الحالة ريبيكيت. ويسمى المعدن الذى يتوسط التركيب الكيميائى للجلوكوفان والريبيكيت باسم كروسيت Crossite (شكل ٥-٤٤).

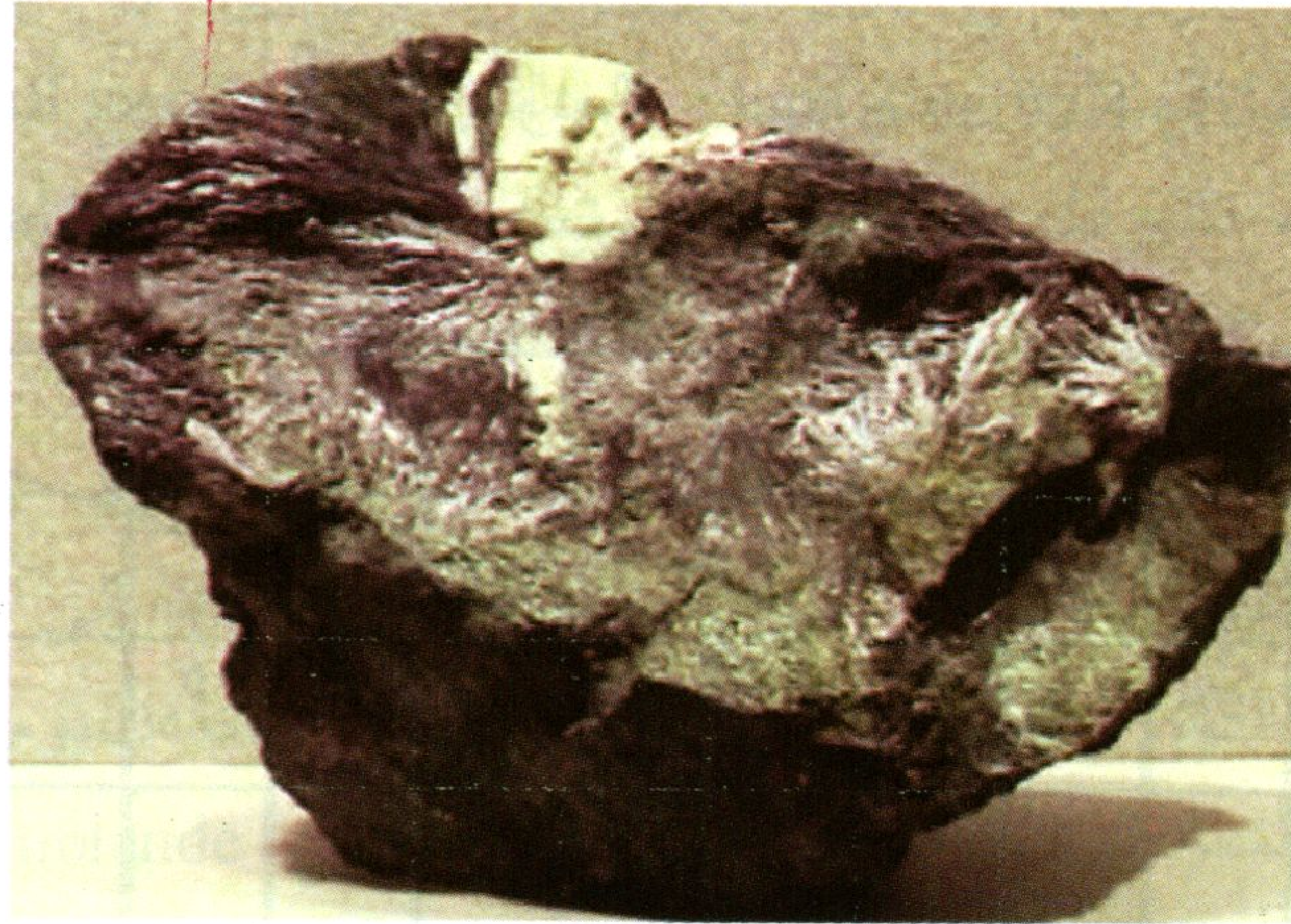


شكل ٥-٤٤: تصنيف أنواع الأمفيبول (جلوكوفان-كروسيت-ريبيكيت) بناءً على نسبة الحديد الثلاثي ($100\ Fe^{3+}$) إلى مجموع الحديد والألومنيوم والتيتانيوم ($Fe^{3+}+[Al]^6+Ti$). (دير واخرون ١٩٨٩).

الصفات الفيزيائية والبصرية

يتميز المعدن باللون الأزرق، ولكن مع زيادة نسبة الحديد قد يتغير لونه إلى الرمادى الداكن (شكل ٥-٤٥). البريق زجاجي إلى لؤلؤى. المخدش رمادى شاحب إلى أزرق. تتراوح الصلادة بين ٥ و ٦. يُظهر المعدن الإنفصام المميز للأمفيبول وغالباً ما يكّون منشورات أو إبر ذات مقاطع مشابهه لمقاطع الألماس Diamond-shaped. يتراوح الوزن النوعي بين ٣ و٣,٢. تحت الميكرسكوب، يتميز الجلوكوفان باللون الأزرق إلى عديم اللون

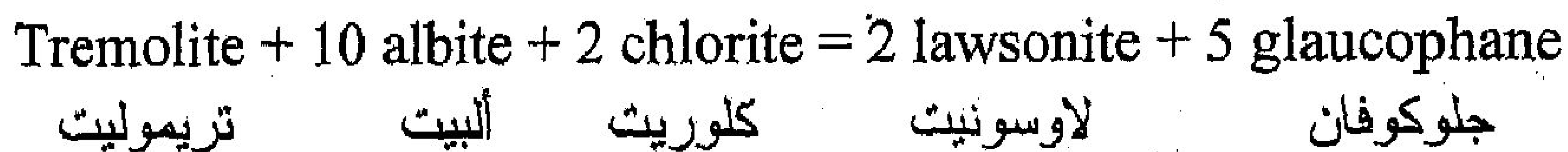
وأحياناً بنفسجي وغالباً ما يظهر تعدد لوني. تصل ألوان التداخل إلى الجزء المنخفض من الرتبة الثانية. الجلوكوفان ثنائي المحور سالب، ألفا (α)= ١,٦٧ وبيتا (β)= ١,٦٥ وجاما (γ)= ١,٦٥، قرينة الانكسار المزدوج (δ) = ٠,٠١- ٠,٠٢ والزاوية البصرية ($2V$)= صفر-٥٠°. كما تظهر معاملات الانكسار تغيراً مع تغير التركيب الكيميائي (شكل ٥-٤٦)



شكل ٥-٤٥: جلوكوفان رمادي غامق مع صحبة من الكلوريت والأباتيت من منطقة فاللي فورد بكاليفورنيا (متحف سميثونيان للتاريخ الطبيعي Smithsonian Museum of Natural History).

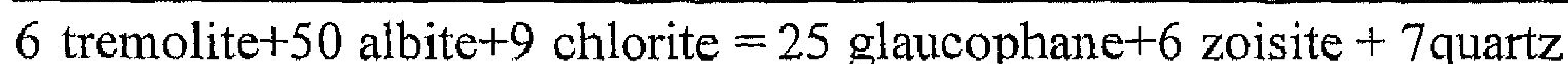
التواجدات والصحبة المعدنية

يتكون الجلوكوفان تحت ظروف تحول عالية الدرجة (سحنة الشيست الأزرق) بمناطق الإندساس حيث الضغط العالي والحرارة المتوسطة. سميت سحنة الشيست الأزرق بهذا الاسم نسبة إلى لون الجلوكوفان الأزرق والذى يعتبر من أكثر المعادن الدالة على هذه السحنة. كما يوجد أيضاً الجلوكوفان بسحنة الإكلوجيت والذى تعرض لعمليات تحول تراجعية. ينتج الجلوكوفان من إنحلال التريموليت والألبيت والكلوريت كما هو واضح من التفاعلات التالية :



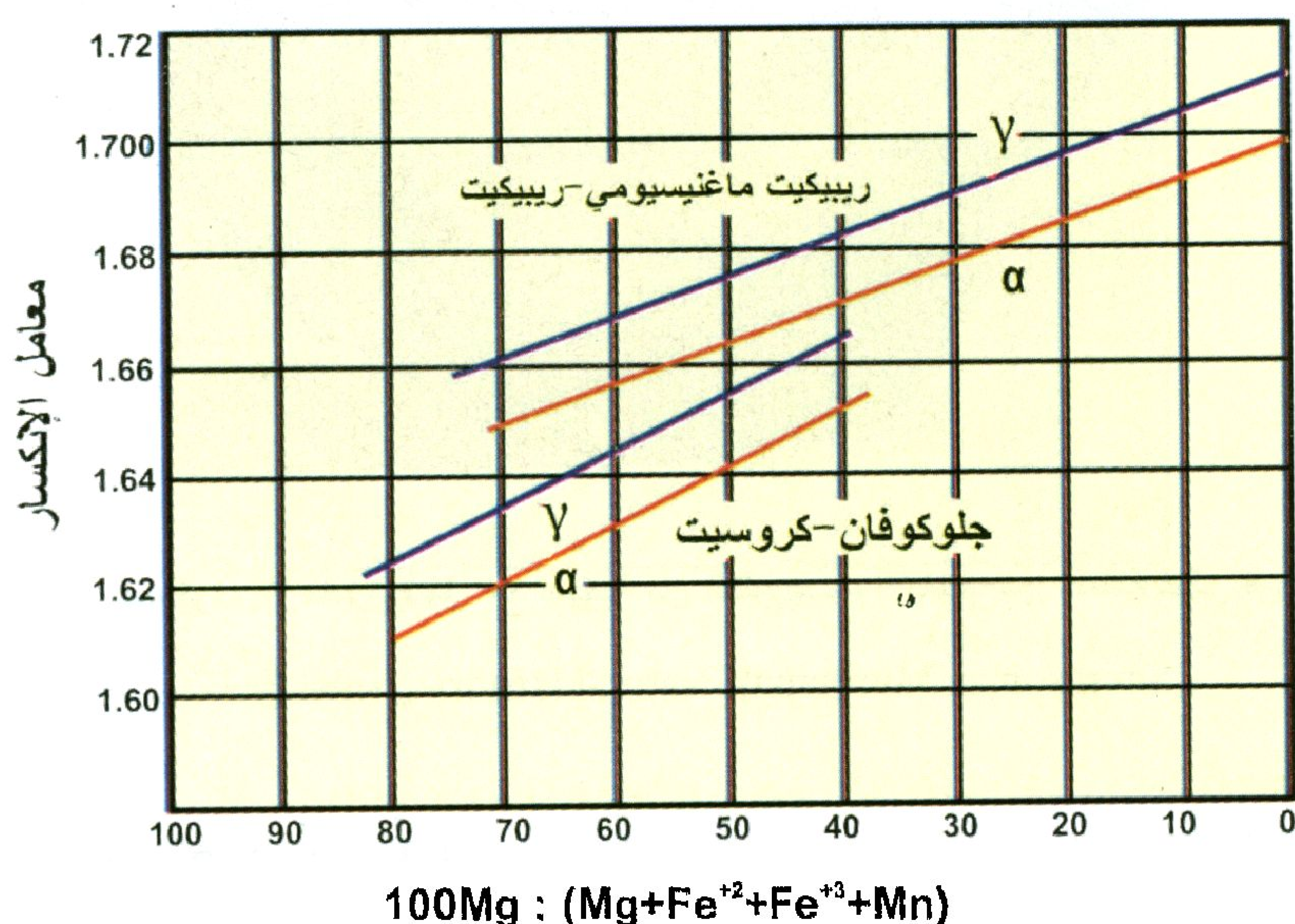
Tremolite + 10 albite + 2 chlorite = 2 lawsonite + 5 glaucophane

تريموليت ألبيت كلوريت لاوسونيت جلوكوفان


6 tremolite+50 albite+9 chlorite = 25 glaucophane+6 zoisite + 7quartz

كوارتز زوسيت جلوكوفان كلوريت ألبيت تريموليت

ومن المعادن المصاحبة: جاديت ولاوسونيت وأراجونيت وكلوريت وأومفاسيت وكمينجتونيت وكوارتز. يتواجد المعدن فى العديد من أحزمة الجبال: جزيرة سيرا Syra Island، جزر سيكليدز Cyclades باليونان، والعديد من الأماكن بالولايات المتحدة الأمريكية مثل مرتفعات كاليفورنيا الساحلية Coast Ranges، وجزر كودياك Kodiak Islands وألاسكا، كما يوجد المعدن بإيطاليا والمملكة المتحدة واستراليا واليابان.



شكل ٥-٤٦: العلاقة بين التركيب الكيميائي ومعاملات الانكسار بسلسلة الجلوكوفان-كروسيت-ريبيكيت ماغنيسيومي-ريبيكيت (دير وأخرون ١٩٨٩).

الهورنبلند Hornblende


$(K,Na)_{0-1}(Ca,Na,Fe,Mg)_2\ (Mg,Fe,Al)_5(Si,Al)_8O_{22}(OH)_2$

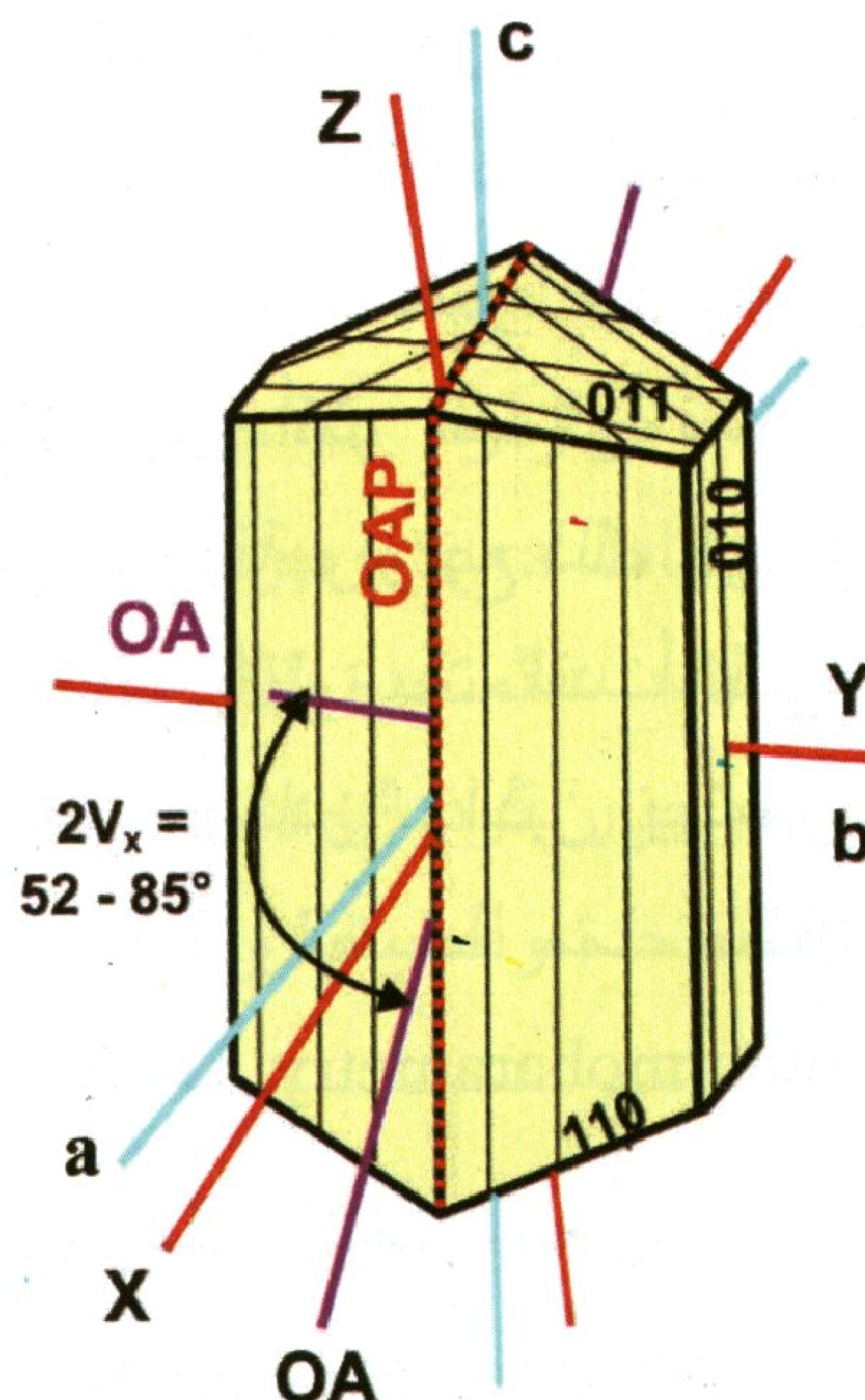
يأتى هذا الاسم من كلمتين ألمانيتين، الأولى *"horn"* والتى تعنى "القرن" نسبة إلى لون قرن الماشية والأخرى *"blenden"* والتى تعنى "يخدع أو يغش" ويرجع ذلك إلى تشابهه مع بعض الخامات الإقتصادية ولكنه فى الحقيقة ليس

له أهمية إقتصادية. يعتبر الهورنبلند من أكثر معادن مجموعة الأمفيبول شيوعاً، غالباً ما يكون أسود اللون ولكن أحياناً يتخذ اللون الأخضر الغامق أو البني. يعتبر من المعادن الشائعة بالصخور النارية والمتحولة مثل الشيست والنيس. كما يعتبر الهورنبلند من أكثر المعادن تغيراً في الصيغة الكيميائية والتى أحياناً تُكتب بأكثر من طريقة ويرجع ذلك إلى عملية الإحلال المستمر لبعض الكاتيونات بمواقع بنيته البلورية. لقد أعطى هذا نوع من التميز للهورنبلند لدى العاملين بعلم المعادن والذين يهتمون بدراسته لما له من حساسيه إتجاه تأثيرات الحرارة والضغط مما جعله من أهم المعادن فى تطبيقات مقاييس الحرارة والضغط Geothermobarametry.

فى الحقيقة، إن اسم الهورنبلند لايعنى معدن واحد فقط، بل يعنى سلسلة من المعادن التى يصعب التمييز بينها، ويرجع ذلك إلى حرية عمليات الإحلال بين الكاتيونات وبعضها (مثل الحديد والماغنسيوم والألومنيوم). تضم هذه السلسلة كل من الهورنبلند الماغنسيومي Magnesio-hornblende والهورنبلند الحديدي Ferro-hornblende والهورنبلند الحديدي الألومنيومي Alumino-Ferrohornblende والهورنبلند الماغنسيومي الألومنيومي Alumino-magnesio-hornblende. يرجع اسم هذه المعادن بالدرجة الأولى إلى المحتوى الكيميائي مع صعوبة التمييز بينهما فى الحقل، ولكن بشكل عام فإن المعادن الأكثر ثراءاً بالحديد تكون أغمق فى اللون ومعتمة.

الصفات البلورية

يتبلور الهورنبلند فى فصيلة الميل الواحد، حيث أ=٩,٨٩، ب= ١٨,٠١، ج= ٥,٣٣ أنجستروم (شكل ٥-٤٧)، مجموع الذرات بخلية الوحدة (Z)=٢، مجموعة النقطة 2/m والمجموعة الفراغية *C2/m*. البلورات غالباً منشورية ولكن يوجد المعدن أيضاً فى هيئة عمدانية وليفية وحبيبية وكتلية وأحياناً على شكل حبيبات إبرية. يكون القطاع العرضى للمنشورات ذو أربعة أو ستة جوانب حيث يظهر الإنفصام المميز للأمفيبول عند ٥٦ و ١٢٤°.



شكل ٥-٤٧: العلاقة بين المحاور البلورية a, b, c ومحاور مجسم معامل الإنكسار X, Y, Z في بلورة لمعدن الهورنبلند، كما يظهر في الشكل إتجاه المحورين البصريين OA والمستوى المحوري البصري (OAP).

كيميائية المعدن

يُظهر الهورنبلند تغيراً ملحوظاً في تركيبة الكيميائي مقارنةً بالأنواع الأخرى للأمفيبول مثل التريموليت والأكتينوليت. يحتوى الهورنبلند على نسبة لابأس بها من كاتيونات الصوديوم والبوتاسيوم في الموقع A، وحديد ثلاثي وألومنيوم بمواقع ثماني الأوجه M3, M2, M1 (انظر جدول ٥-٥). ولكي يحافظ الهورنبلند على إتزان الشحنات أثناء عملية الإستبدال الأيوني، يحدث نوع من إستبدال للألومنيوم Al^{3+} محل السيليكون Si^{4+} لتعويض فرق الشحنات بمواقع رباعيات الأوجه. هذا ما يجعل الهورنبلند ممثلاً لعدة سلاسل من المعادن وليس معدناً واحد، هذه السلاسل هي:

- هورنبلند ماغنسيومي- هورنبلند حديدي


Magnesiohornblende-Ferrohornblende

$Ca_2[(Mg, Fe^{2+})_4Al]Si_7AlO_{22}(OH)_2$

- تشيرماكيت– تشيرماكيت حديدي Tschermakite– Ferrotschermakite
$Ca(Mg, Fe^{2+})_3Al_2Si_6Al_2O_{22}(OH)_2$
- إدينيت– إدينيت حديدي Edenite- Ferroedenite
$NaCa_2(Mg, Fe^{2+})_5Si_7AlO_{22}(OH)_2$
- بارجازيت– بارجازيت حديدي Pargasite- Ferropargasite
$NaCa_2(Mg, Fe^{2+})_4Al\ Si_6Al_2O_{22}(OH)$
- هاستينجزيت ماغنسيومي– هاستينجزيت
Magnesiohastingsite-Hastingsite
$NaCa_2(Mg, Fe^{2+})_4Fe^{3+}Si_6Al_2O_{22}(OH)_2$

كما يحدث أيضاً إحلال لعناصر مثل التيتانيوم والمنجنيز والكروميوم بالمواقع M1, M2, M3، وأيضاً ممكن أن يحل الأكسجين والفلورين والكلورين محل مجموعة الهيدروكسيل (OH). يختلف الهورنبلند عن معادن الأمفيبول الأخرى فى كونه يحتوى على ٨ كاتيونات بمواقع ثمانى الأوجه بدلاً من سبعة بالمعادن الأخرى.

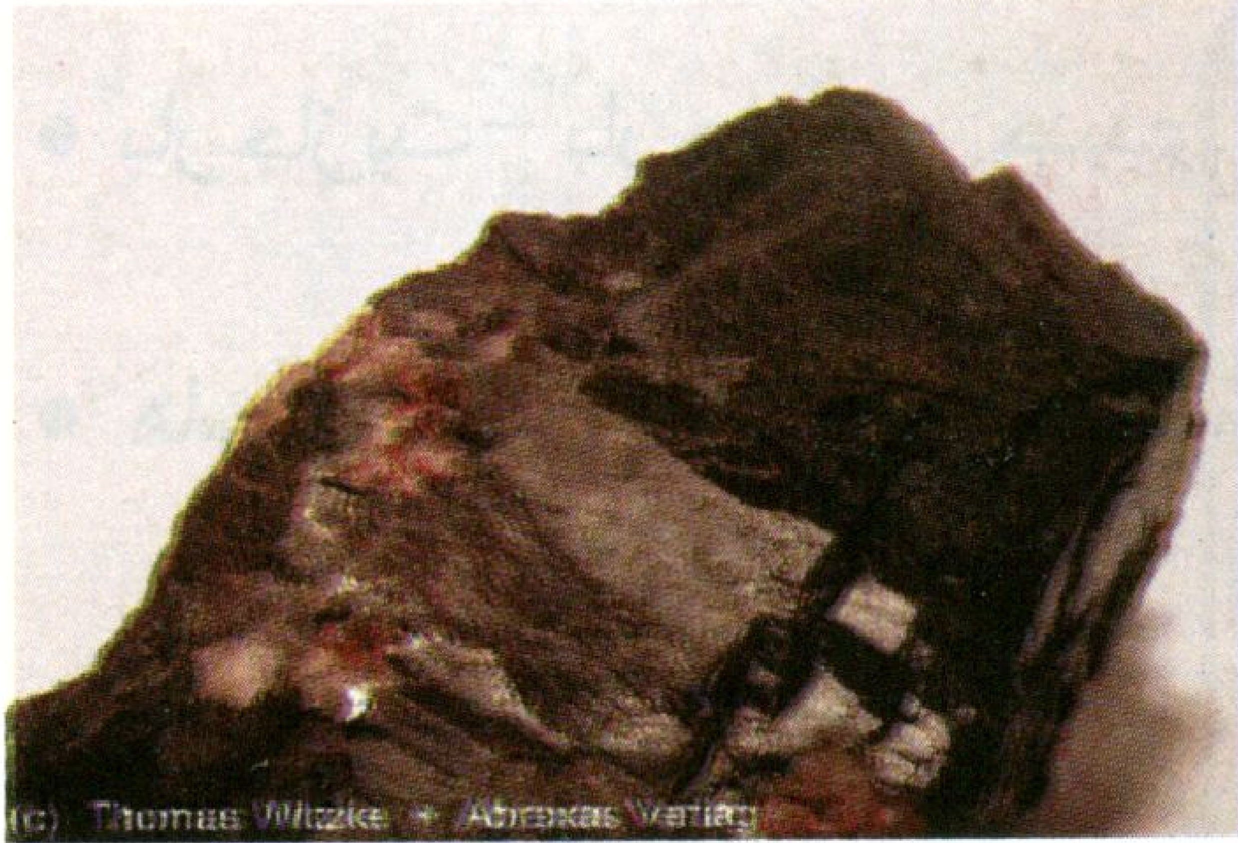
الصفات الفيزيائية والبصرية

عادةً يكون المعدن أسود إلى أخضر غامق وأحياناً يظهر درجات مختلفة من الأخضر المصفر أو الأخضر المَزرق أو البنى أو الرمادي (شكل ٥-٤٨). البريق زجاجى وفي الأنواع الليفية حريرى. المخدش بني إلى رمادي. عادة تكون البلورات معتمة ولكن البلورات الرقيقة ممكن أن تكون نصف شفافة. تتراوح الصلادة بين ٥ و ٦. الإنفصام منشورى كامل موازى للمستوى {110} والزاوية مقدرها ٥٦° و١٢٤° (شكل ٥-٤٩). يتراوح الوزن النوعى بين ٢,٩ و٣,٤. تحت الميكرسكوب، يُظهر الهورنبلند درجات متفاوتة من اللون البني والأخضر المزرق والأخضر المصفر والبني المحمر. يتميز الهورنبلند بالتغير اللوني المتوسط إلى القوى. يتخذ القطاع العرضي شكل سداسى كاذب Pseudohexagonal أو شكل الألماس ويُظهر الهورنبلند تضاريس متوسطة إلى عالية. المعدن ثنائى المحور سالب، معاملات الانكسار ألفا (α)= ١,٦ –١,٧٠، وبيتا (β)= ١,٦١ –١,٧١، وجاما (γ)=

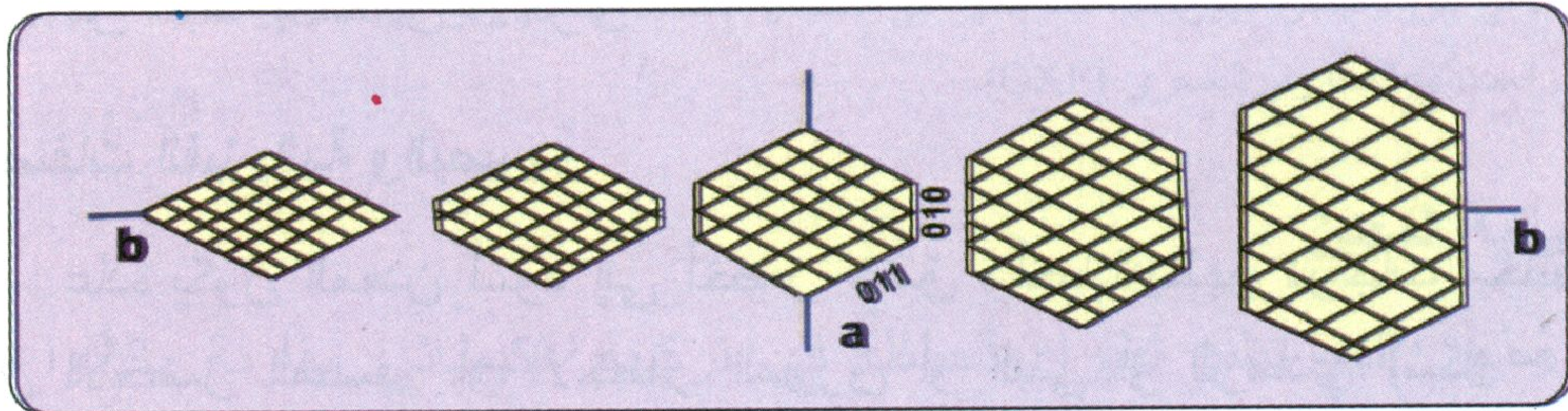
١,٦٢– ١,٧٣، قرينة الانكسار المزدوج (δ) = ٠,٠١٤– ٠,٠٣٤ والزاوية البصرية ($2V$) = ٥٢°–٨٥°.

(أ) (ب)





شكل ٥–٤٨: (أ) بلورة رمادية اللون ومنشورية للهورنبلند من منطقة مونتا سوما بإيطاليا Monte Somma, Italy (webmineral.com/specimens/picshow.php?id=398). (ب) بلورة كتلية للهورنبلند ذات لون أخضر غامق من منجم فيللي أجاتز بالمانيا Willi Agatz Mine, Germany. (Thomas Witzke + Abraxas Verlag).



شكل ٥-٤٩: الإنفصام المميز للأمفيبول عند ٥٦ و ١٢٤° في مقاطع لبلورات مختلفة.

التواجدات والصحبة المعدنية

يتواجد الهورنبلند في أنواع مختلفة من الصخور النارية والمتحولة. يصاحب عادةً البلاجيوكليز والكوارتز في الصخور النارية المتوسطة التركيب مثل الديوريت والأنديزيت، كما يصاحب معادن مافيه مثل البيروكسين والأوليفين بالصخور المافية. ويتواجد بكثره بالصخور المافية المتحولة وخصوصاً بصخور الأمفيبوليت التى تحتوى على الهورنبلند بشكل أساسي بالإضافة إلى البلاجيوكليز. قد يتواجد الهورنبلند على صورة التشيرماكيت بالصخور المتحولة عالية الدرجة مثل الأمفيبوليت الكيانيتى أو قد ينتج من

تحول تراجعى لسحنة الإكلوجيت (من معدن الأومفاسيت)، بينما يتواجد البارجازيت بالصخور الجيرية الدولوميتية غير النقية حيث يتوافر عنصر الماغنسيوم بكثرة وهو اللازم لتكّون البارجازيت. قد يتواجد الهورنبلند أيضاً كمعدن ثانوى فى بعض من الصخور النارية حيث ينتج عن تغاير البيروكسين. يحدث أحياناً نوع من التغاير للهورنبلند ليعطي معدني البيوتيت والكلوريت أو معدن سيليكاتى غني بالماغنسيوم والحديد. من المعادن المصاحبة: الكوارتز والبلاجيوكليز والأوجيت والميكا والماجنيتيت والعديد من المعادن ذات درجة التحول المتوسطة.

الاستخدامات

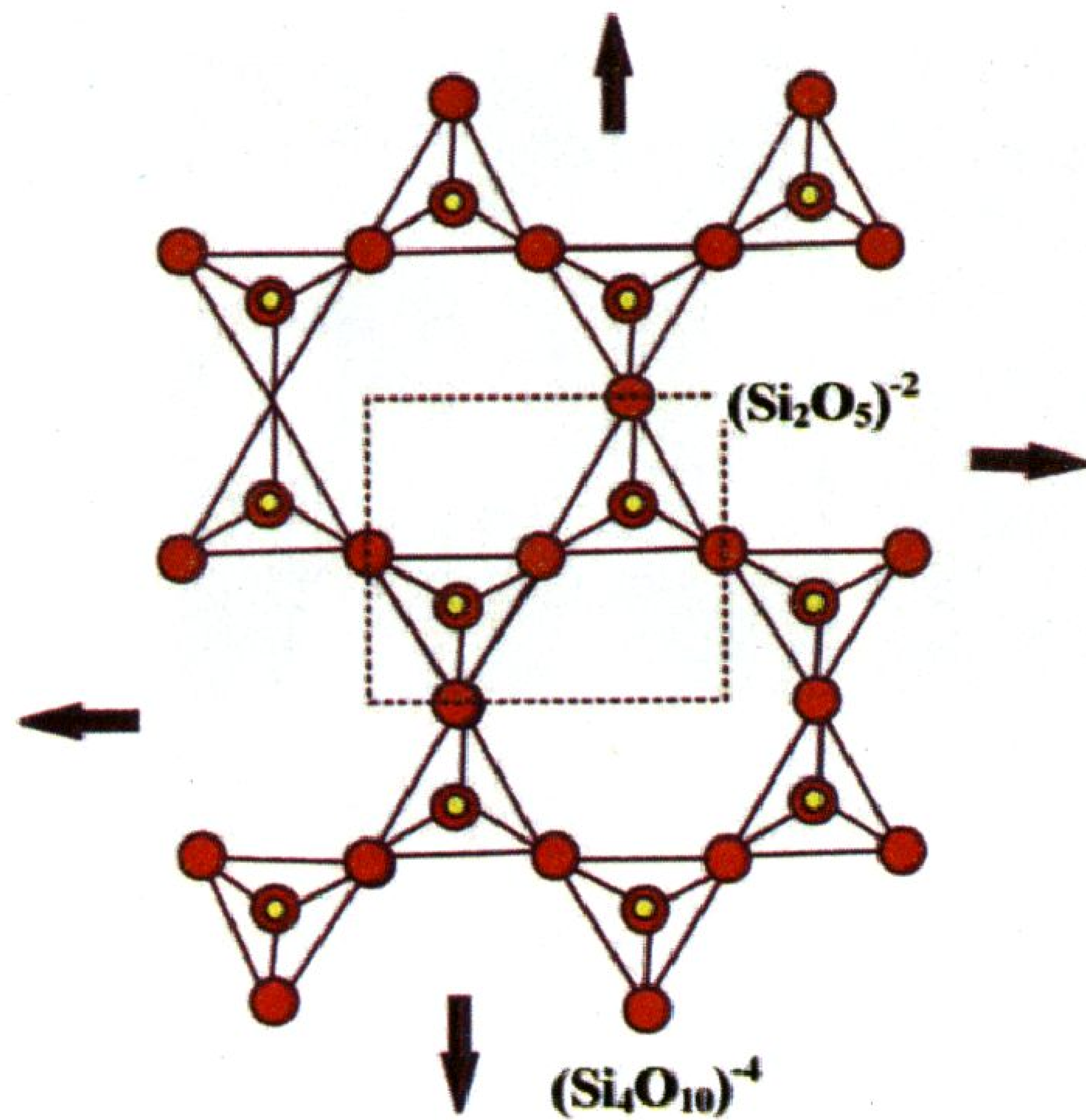
من الناحية الإقتصادية، يعتبر الهورنبلند عديم الفائدة، فيما عدا تواجده من ضمن مكونات بعض صخور الزينة.

الباب السادس

الفيللوسيليكات (السيليكات الصفائحية)

Phyllosilicates

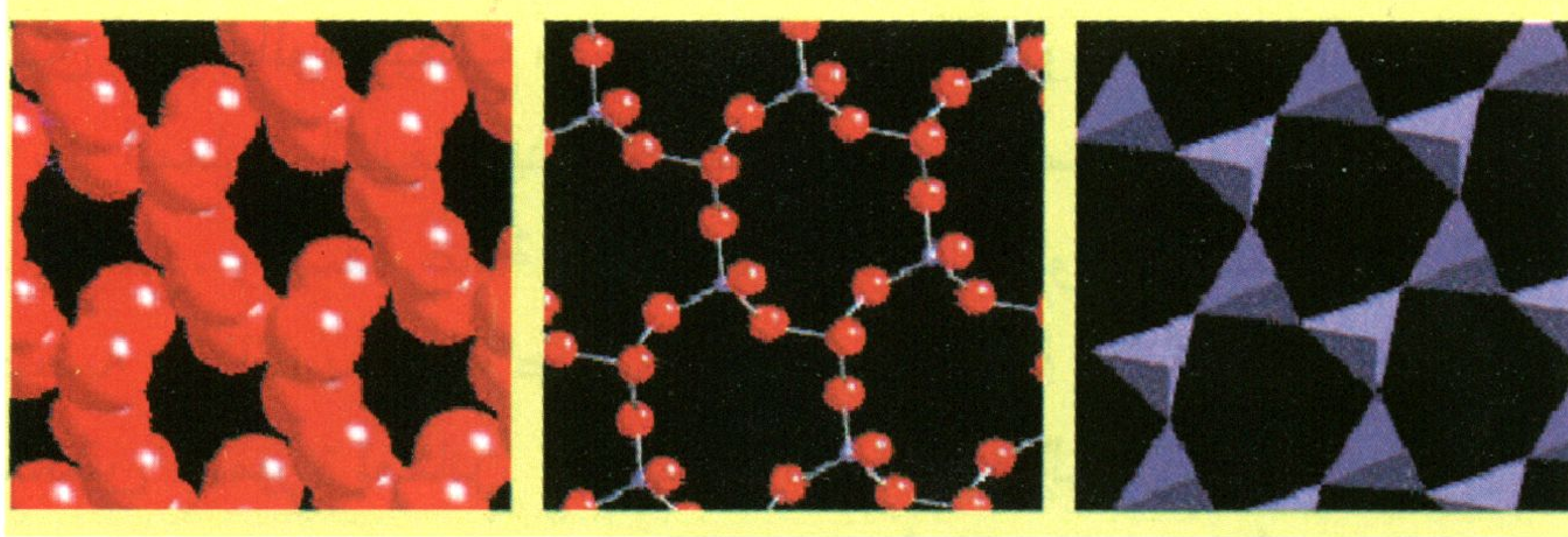
أُشتق اسم فيللوسيليكات من الكلمة اليونانية فيلون *Phyllon* بمعنى ورقة حيث أن المعادن التابعة لهذه الطائفة ذات هيئة صفائحية ويوجد بها إنفصام واحد واضح. وبصفة عامة تتميز هذه المعادن بالوزن النوعي والصلادة المنخفضة وكذلك بمرونة صفائح الإنفصام القابلة للإنثناء. وترجع تلك الخصائص المميزة لمعادن السيليكات الصفائحية إلي البناء الذرى الذي يتكون من صفائح تتكون من السيليكون والأكسجين بصفة أساسية.



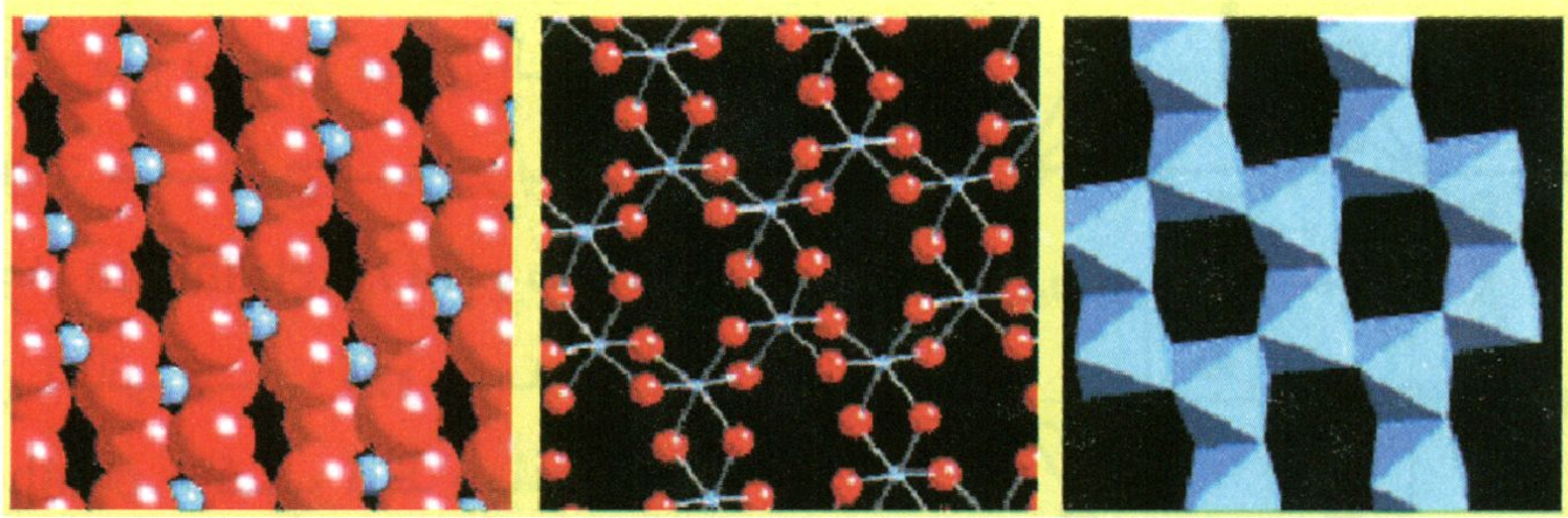
شكل ٦-١: ترتيب رباعيات الأوجه السيليكاتية في الفيللوسيليكات. نسبة السيليكون إلى الأكسجين ٢: ٥.
● أكسيجين ○ سيليكون

يتكون البناء البلوري في هذه المعادن من نوعين من الصفائح Sheets: صفائح من رباعيات الأوجه SiO_4 tetrahedra وصفائح من ثمانيات الأوجه AlO_6 octahedra. وترتبط رباعيات الأوجه بعضها البعض عن طريق المشاركة في ذرات الأكسجين، ويشترك كل رباعي الأوجه بثلاث ذرات أكسجين مع رباعيات الأوجه المجاورة عند الأركان ليكّون نموذج شبكي سداسي الأضلاع Hexagonal mesh pattern ممتد في مستوى من بعدين مكوناً تركيب صفائحى. في هذا البناء الصفائحى، تبلغ نسبة السيليكون إلى الأكسجين ٢: ٥ (شكل ٦ -١). وغالباً ما تُستبدل بعض ذرات السيليكون بذرات كل من الحديد الثلاثي والألومنيوم Al و Fe ونادراً ما تستبدل بالبورون B والبريليوم Be. تأخذ ذرات الأكسجين عند الأركان

الأخرى (ذرات الأكسجين الطرفية Apical oxygen) اتجاه واحد لتكّون جزء من النوع الأخر من الصفائح المتكون من ثمانيات الأوجه. تتصل ثمانيـــات الأوجه هذه بعضها البعض عند الحواف (شكل ٦-٢).



أ- التوزيع الفراغى لرباعيات الأوجه



ب- التوزيع الفراغي لثمانيات الأوجه

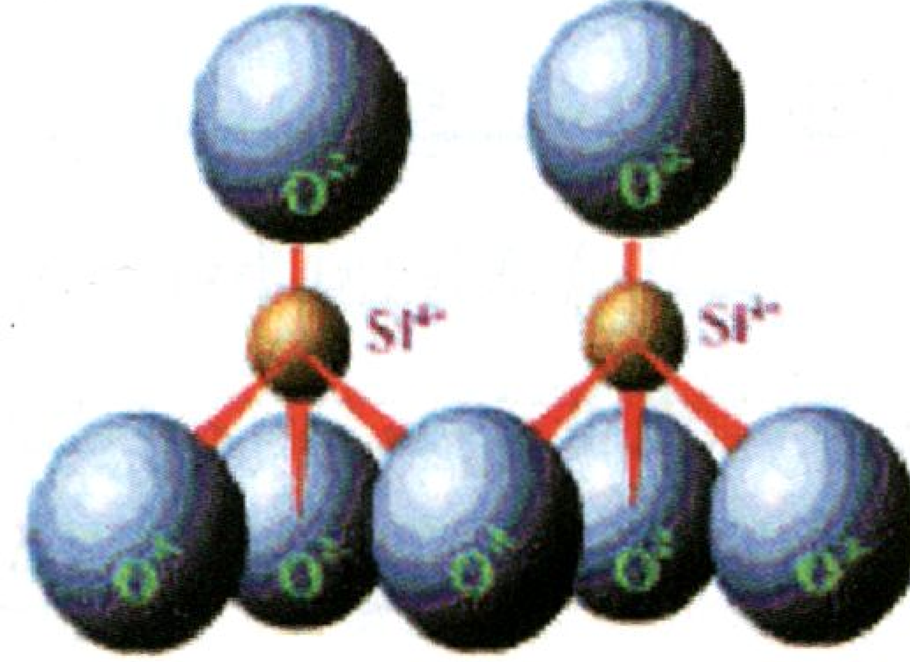
شكل ٦-٢: التوزيع الفراغي لكل من رباعيات الأوجه وثمانيات الأوجه في الفيللوسيليكات

في بعض المعادن، قد لا تشير ذرات الأكسجين الطرفية فـي الـصفائح رباعية الأوجه إلي اتجاه واحد فقد تنقلب رباعيات الأوجـه لتـشترك ذرات الأكسجين الطرفية بصفائح رباعية أو ثمانية الأوجه فى الإتجاه المعــاكس، كما سيتضح لاحقاً. بشكل عام هناك نوعان من هذا البناء:

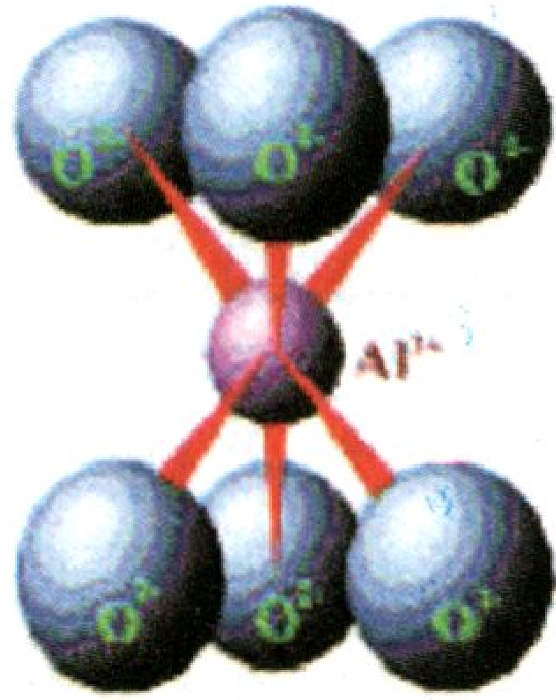
١- بناء صفائحى من نوع T-O (طبقة إلى طبقة ١:١):

في هذا البناء ترتبط طبقة من رباعيات الأوجه بطبقــة مــن ثمانيــات الأوجه، وتتمثل الأنيونات الغير مشتركه في المستويات العليا من طبقــة ثمانيات الأوجه بمجموعات الهيدروكسيل (OH). وهــذه الــصحبة مــن

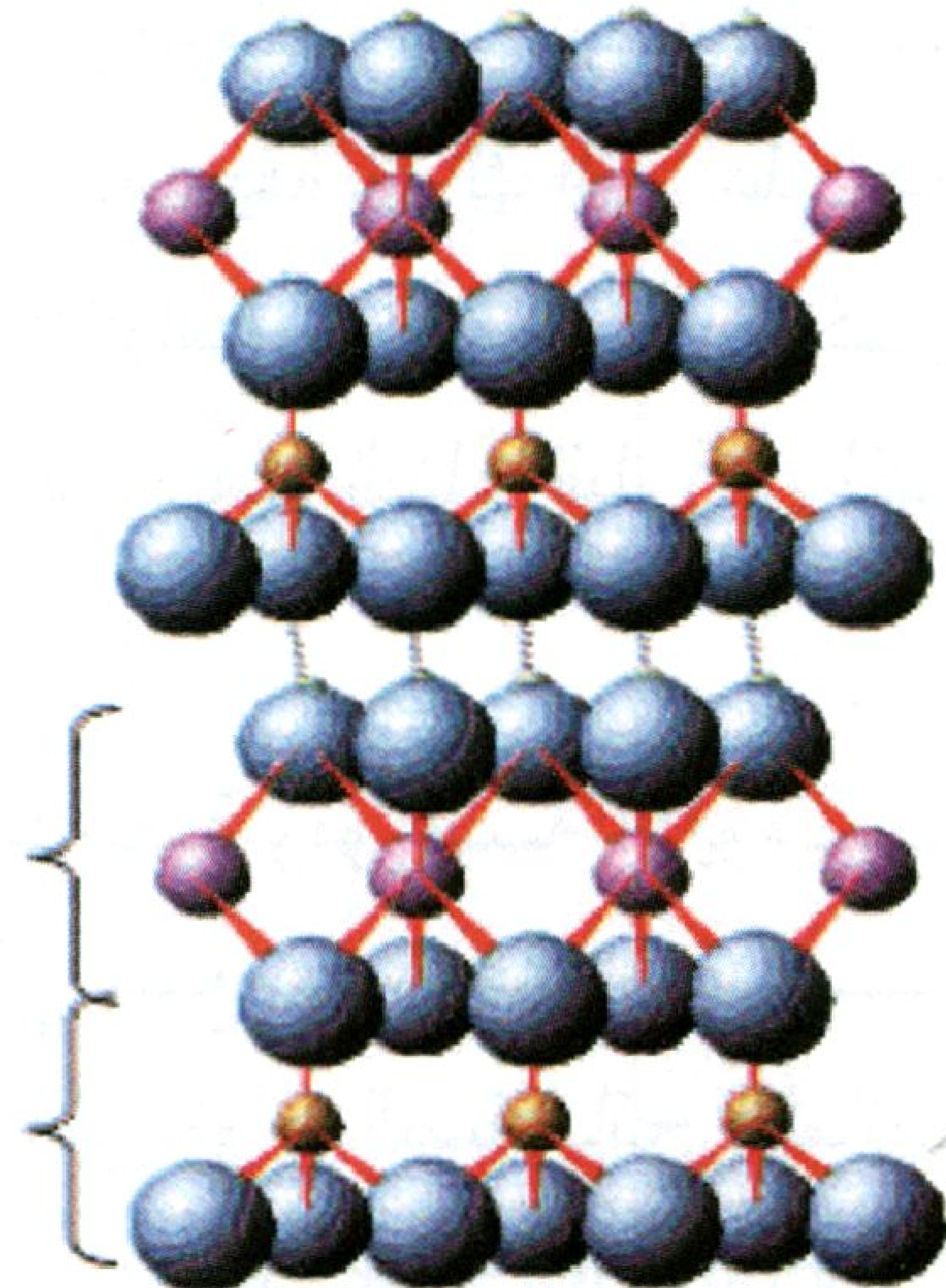
الصفائح متعادلة كهربائيا (شكل ٦-٣أ)، مثل البناء الذرى لمعادن السربنتين والكاولينيت.



وحدتين من رباعيات الأوجه



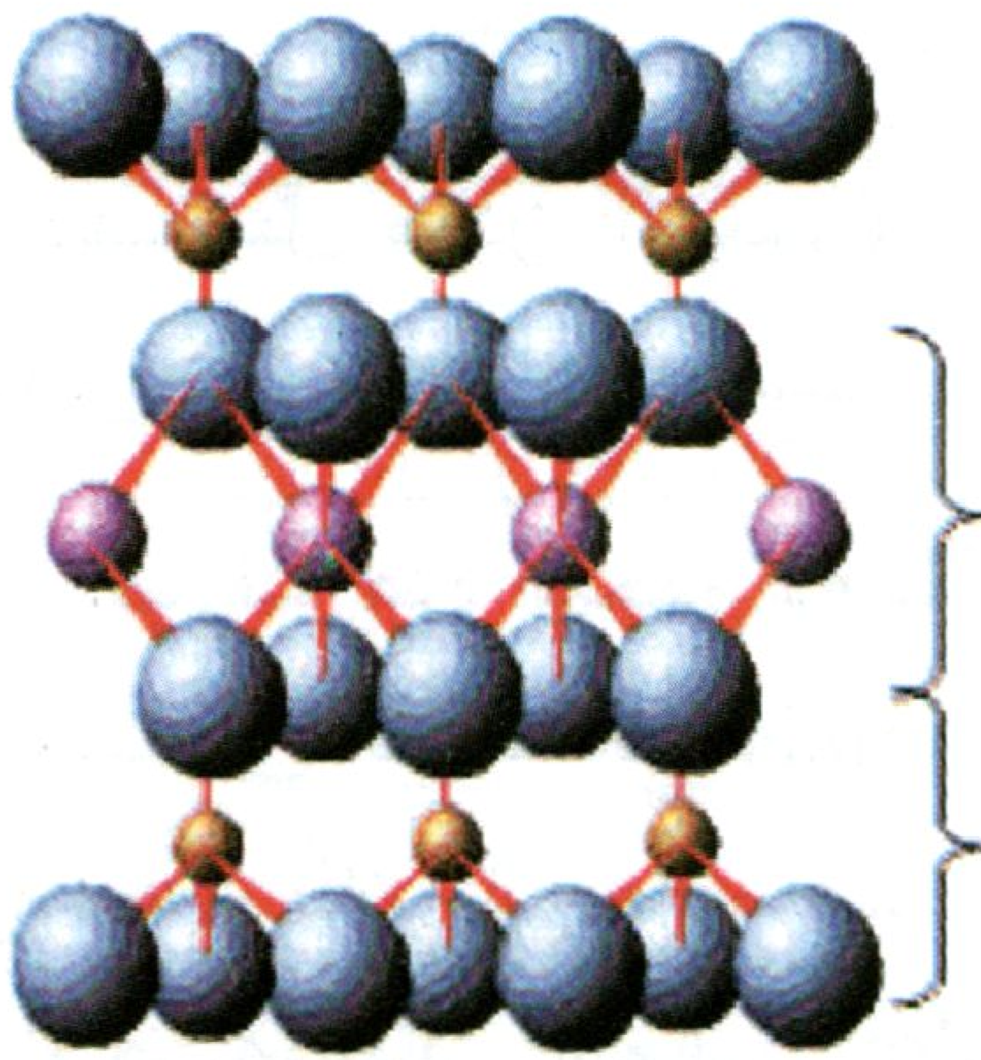
وحدة من ثمانيات الأوجه



أ- بناء صفائحى من نوع T:O للكاولينيت

طبقة من ثمانيات الأوجه

طبقة من رباعيات الأوجه



ب- بناء صفائحى من نوع T:O:T للتلك

شكل ٦-٣: البناء الصفائحى لمعادن الفيللوسيليكات

٢- بناء صفائحى من نوع T-O-T (طبقة إلى طبقتين ١:٢):

ترتبط طبقتين من رباعيات الأوجه في هذا البناء بطبقة من ثمانيات الأوجه. ولإتمام هذا الارتباط، تصبح طبقة رباعيات الأوجه العليا مقلوبة وتكون ذرات الأكسجين الطرفية متجهه لأسفل لترتبط بطبقة ثمانيات الأوجه السفلى (شكل ٦-٣ب). ويكون كل من مستويات الأنيونات في ثمانيات الأوجه لها نفس التركيب الكيميائي من الأكسيجين

والهيدروكسيل. يتصف هذا البناء أيضاً بأنه متعادل كهربائيـا أو يحمـل شحنة سالبة تتعادل بوجود مواد بين الصفائح والتي تـشمل كاتيونـات وحيدة أو كاتيونات مائية ،وهـي عبارة عن كاتيونات متصلة بمجموعة هيدروكسيل، أو مجموعـات أو صفـائح من الهيدروكـسيدات الفلزيـة ثمانيـة التنـاسق Metal-hydroxyl octahedral sheets (بيلـي ١٩٩١ Bailey) أو مركبات عضوية، مثال البناء البلوري لمعدن التلك والميكـا والكلوريت والمعادن الطينية (عدا الكاولينيت).

ترتبط هذه الصفائح بعضها ببعض بواسـطة روابـط ضـعيفة وغالبـاً ماتتواجد جزيئات ماء وجزيئات أخرى أو ذرات متعادلة بين الصفائح ممـا يجعل هذه البناء منتجاً لمعادن لينة ذات صلادة ضعيفة تترك أثر على قطع القماش مثل التلك، وبعض المعادن لها تركيب الألياف التي تتـشكل لتكـون أنابيب مثل معدن الأسبستوس. سنعرض فى هذا الباب البناء البلورى لكـل معدن على حده عند وصفه بالفقرات الآتية.

تُصنف هذه المجموعة بناءاً على البنية الصفائحية ونوعيـة الأيونـات فيمـا بين الصفـائح Interlayer materials إلي سبع مجموعات معدنيـة، وتُصنف أكثر إلي مجموعـات تحتية بنـاءاً على نوع الصفـائح الثمانيـة الأوجـه: ثنائي الثماني Dioctahedra أو ثلاثـي الثمـاني Trioctahedra (جدول ٦-١).

ترجع أهمية معادن السيليكات الصفائحية لكونها النواتج الأساسية لعمليات التجوية الكيميائية وتعرية الصخور، وبالتالي تكّون الجزء الأكبر من التربة والصخور الرسوبية دقيقة الحبيبات. وتتوقف خصائص التربة على الخواص المختلفة لهذه المعادن. كما أن معادن السيليكات الصفائحية تتحمل الـضغط والحرارة العالية لذلك تشكل جزء كبير من الصخور المتحولة مثـل الميكـا التي تعتبر أهم مكونات صخور الشيست.

جدول ٦-١: تصنيف معادن السيليكات الصفائحية (بيلى ١٩٩١)

البناء الصفائحى	الأيونات بين الصفائحية	مجموعة	تحت مجموعة	أمثلة من المعادن
١:١	لا توجد أو ماء فقط	سربنتين- كاولينيت	سربنتين	كريزوتيل، ليزارديت
			كاولينيت	كاولينيت، ديكيت
١:٢	لاتوجد	تلك- بيروفيلليت	تلك	تلك
			بيروفيلليت	بيروفيلليت
	كاتيونات مائية قابلة للإستبدال	سميكتيت	صابونيت	صابونيت
			مونتموريللونيت	مونتموريللونيت
		فيرميكيوليت	فيرميكيوليت ثنائي الثمانى	فيرميكيوليت ثنائي الثمانى
			فيرميكيوليت ثلاثى الثماني	فيرميكيوليت ثلاثى الثماني
	كاتيونات غير مائية	ميكا	ميكا ثنائي الثمانى	مسكوفيت، جلوكونيت
			ميكا ثلاثى الثمانى	بيوتيت، ليبيدوليت، فلوجوبيت
		ميكا هشة	ميكا هشة ثنائي الثماني	مارجريت
			ميكا هشة ثلاثى الثماني	كلينتونيت
	طبقة هيدروكسيل	كلوريت	كلوريت ثنائي الثمانى	دونباسيت
			كلوريت ثلاثى الثماني	كلينوكلور، شموزيت
			كلوريت ثنائي ثلاثى الثماني	كووكيت

مجموعة التلك والبيروفيلليت

Talc-Pyrophyllite Group

تنتمي مجموعة معادن التلك والبيروفيلليت إلـى المعـادن السـيليكاتية الصفائحية ذات التركيب البنائي ٢ : ١ (T-O-T) الذي يتكون من نوعين من الصفائح: الرباعية الأوجه Tetrahedral sheet التي بدورها تتكون من X_2O_5 (حيث X تمثل بـذرات حديد ثلاثي وألومنيوم وسـيليكون) وتـرتبط فيهـا رباعيات الأوجه SiO_4 Tetrahedra بعضها ببعض بذرات الأوكسجين عنـد ثلاث أركان لتكّون صفائح لانهائية ذات بعدين مكونة حلقات سداسية الشكل (أنظر شكل ٦-١)، أما ذرة الأكسجين عند الركن الرابـع مـن رباعيـات الأوجه فتكون ركن من الوحدات ثمانية التناسق Octahedral coordination unit حول الكاتيونات الكبيرة مثل الألومنيوم في البيروفيلليت والماغنـسيوم في التلك. هذه الكاتيونات ثمانية التناسق تكّـون صـفائح ثمانيـة الأوجـه Octahedral sheets وترتبط فيها ثمانيات الأوجه جانبياً عند الحواف (أنظـر شكل ٦-٢). تتكون الوحدة البنائية من طبقتين من رباعيات الأوجه متقابلـة في الوضع تحوى فيما بينهما طبقة من ثمانيات الأوجه لتكون تركيب يـشبة السندوتش (أنظر شكل ٦-٣). كما ترتبط وحدات ثمانية الأوجه بمجموعات الهيدروكسيل. تكون الطبقات الصفائحية في هذه المجموعة متعادلة كهربياً، لذلك لا توجد أيونات بين الطبقات الصفائحية وتـرتبط ببعـضها بواسـطة روابط فاندرفال الضعيفة.

تصنف هذه المجموعة من المعادن كما سبق بناءً علـى طبيعـة طبقـة ثمانيات الأوجه, فقد تكون ثنائيـة Dioctahedral كمـا هـو الحـال فـي البيروفيلليت أو ثلاثية Trioctahedra كما هو الحال في التلك.

التلك Talc



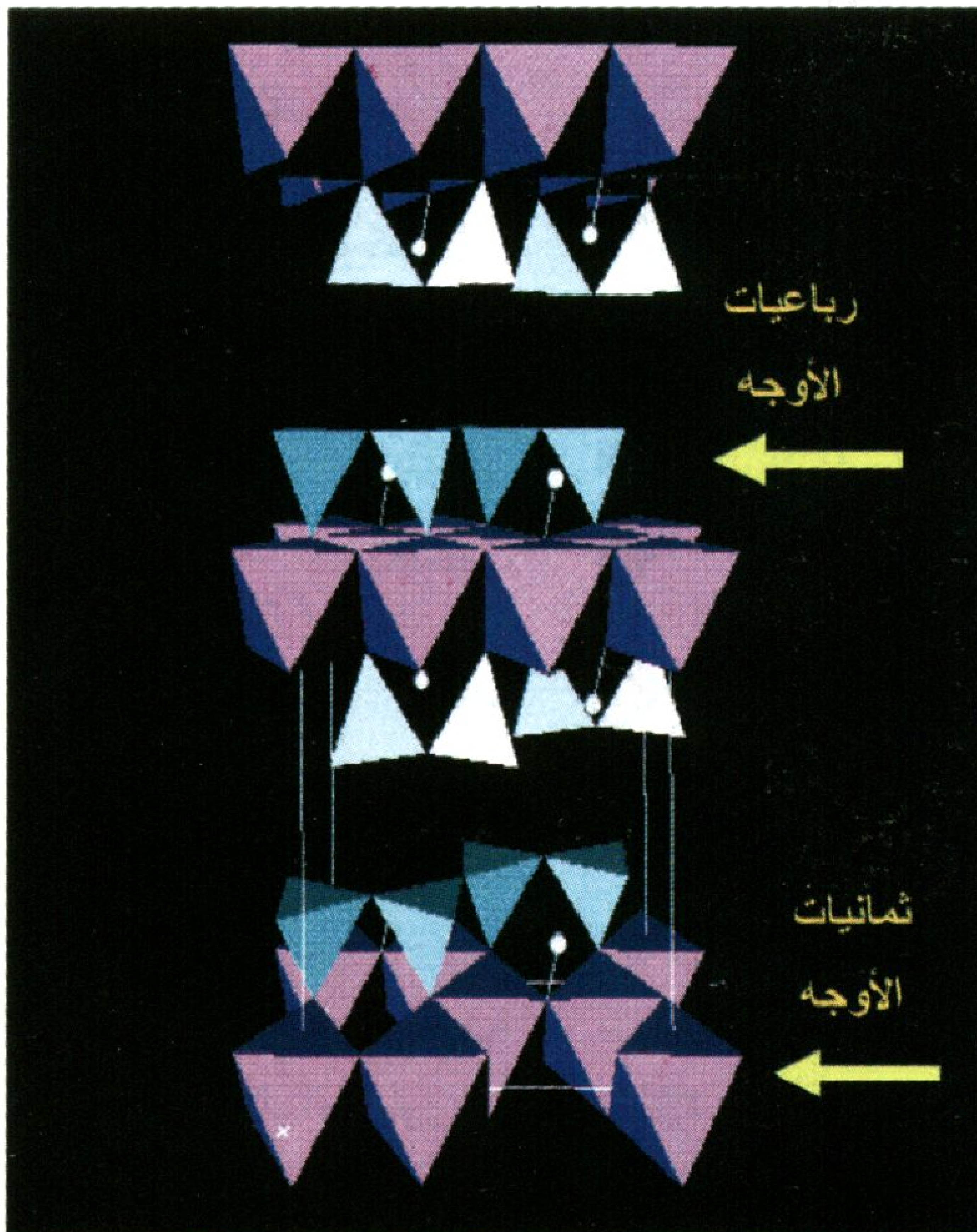
$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$

اسم التلك قديم ومن المحتمل أن يكون من أصل عربي (ديـر وأخـرون ١٩٩٢ .Deer et al). التلك معدن لين وناعم الملمس ويعرف التلك الموجود

في هيئة كتل متماسكة غير نقية بالحجر الصابوني Soapstone والذي يمكن تشكيله لأشكال مختلفة، كما يُعرف النوع عالي الجودة والكتلي Massive، يعرف بالاستياتيت Steatite والذى يُستخدم في تصنيع العوازل الكهربائية. أما التلك الناعم جداً والمعروف بالطباشير الفرنسي French chalk يعتبر صالح لتصنيع كرايونات صناعة الصلب Steel-making crayons (روى ١٩٨٣ Roe).

البنية البلورية

يتبلور معدن التلك في فصيلة الميل الواحد. مجموعة النقطة 2/m والمجموعة الفراغية *C2/c*. تبلغ أبعاد خلية الوحدة أ= ٥,٢٧ ، ب = ٩,١٢ ، ج =١٨,٨٥ أنجستروم والنسب مابين هذه الأبعاد أ:ب:ج =٠,٥٧٨: ١ : ٢,٠٦٧ ومقدار زاوية بيتا= ١٠٠° ويبلغ ما تمتلكه خلية الوحدة من الذرات (Z) =٤. الهيئة البلورية نادرة الوجود وعادة ماتكون على شكل لوحي معينى أو سداسية الحدود.

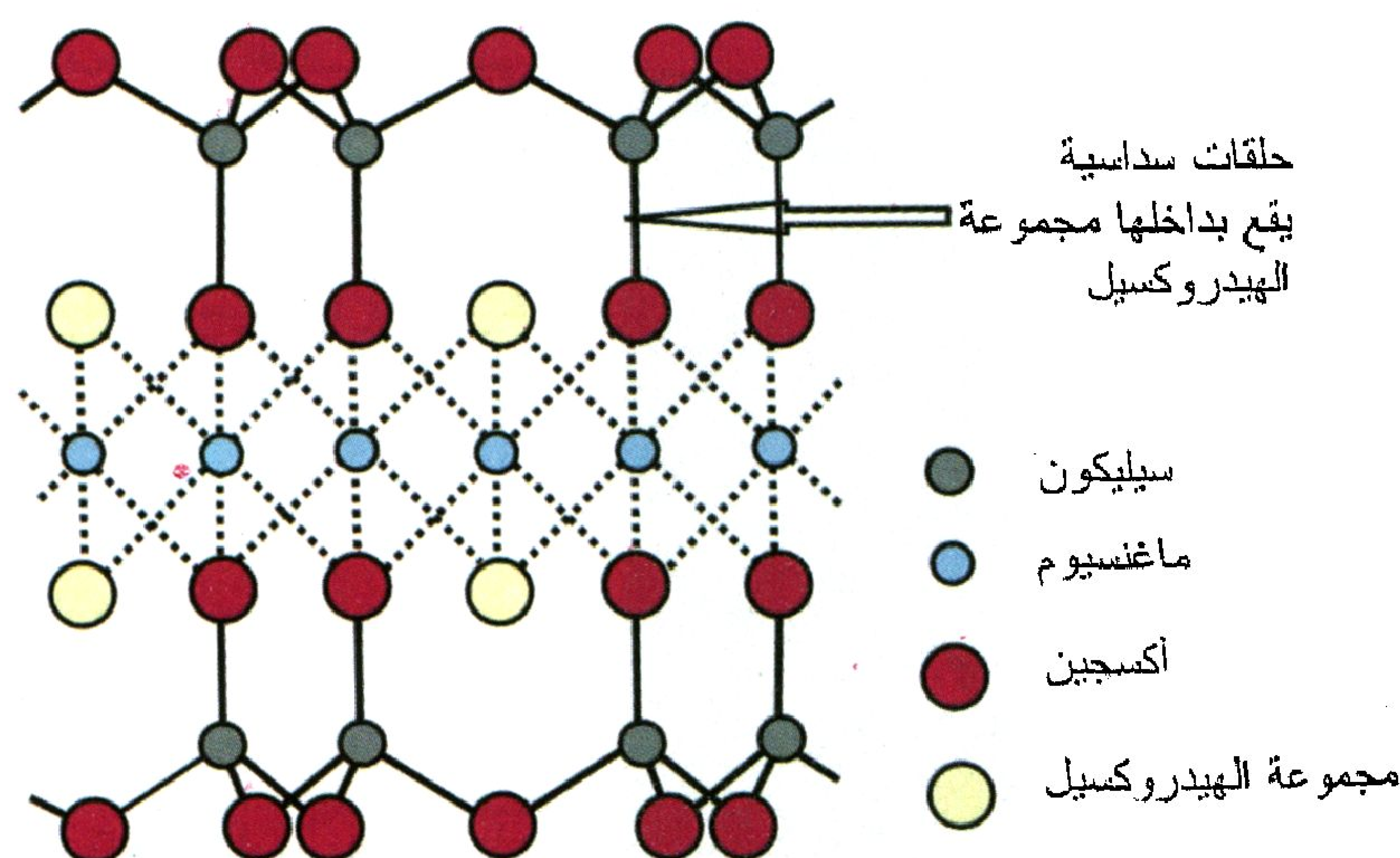


شكل ٦-٤: البناء الصفائحى من النوع ٢:١ T-O-T الممثل لمعدن التلك

تتكون البنية البلورية لمعدن التلك من صفيحتين من رباعيات الأوجه تحيطان بطبقة من ثمانيات الأوجه (النوع ٢:١ T-O-T، شكل ٦- ٤). تتكون الكاتيونات ثمانية التناسق فى التلك من الماغنسيوم الذي يشغل كل المواقع المتوسطة لثمانيات الأوجه ولا توجد مواقع فارغة (شكل ٦-٥). ترتبط صفائح رباعيات الأوجه بالصفائح

ثمانيات الأوجه عن طريق الاشتراك في ذرة الأكسجين الرابعة والطرفية لرباعيات الأوجه. كما أن ثمانيات الأوجه ترتبط بمجموعات الهيدروكسيل. والتي تقع في نفس مستوى ذرة الأكسجين الطرفية Apical oxygen وفي وسط الحلقات السداسية التي تكّونها رباعيات الأوجه (شكل ٦-٥).

وترتبط الطبقات الصفائحية المتعادلة الشحنة بعضها ببعض عن طريق روابط فاندرفال الضعيفة مما يجعل معدن التلك لين وناعم الملمس ويترك أثراً علي قطع القماش.



شكل ٦-٥: البناء البلورى لمعدن التلك، تشغل ذرات الماغنسيوم جميع مواقع ثمانيات الأوجه.

كيميائية المعدن

يتكون معدن التلك من سيليكات الماغنسيوم المائية. والصيغة الكيميائية المثالية للمعدن النقي تمثل بـ $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$ ، ويحتوى التلك النقي على ٦٣,٣٦% SiO_2، ٣١,٨٩% MgO، ٤,٧٥% H_2O، وأحيانا قد يحيد التلك عن تلك الصيغة الكيميائية بإحلال نسب صغيرة من أيونات الحديد الثنائى والثلاثى محل الماغنسيوم، وقد تحل كميات ضئيلة من أيونات التيتانيوم

جدول ٦–٢: نماذج من التحاليل الكيميائية للتلك في كل من السويد ومصر

الأكسيد	السويد	مصر	
		٢	٣
SiO_2	٦٢,٦١	٦٠,٥٠	٣٧,٨١
Al_2O_3	ضئيل	١,٥٦	٠,٤٦
MnO	٠,٠١	—	٠,٠٤
Fe_2O_3	٢,٤٦	٠,٧٠	٥,٩١
CaO	—	٥,٤٧	٠,٣٢
MgO	٣٠,٢٢	٢٦,٣١	٣١,٧٨
Cr_2O_3	—	—	٠,٣١
Ni_2O_3	—	—	٠,٢٦
TiO_2	—	ضئيل	٠,٠٢
Na_2O	—	٠,٣٦	—
K_2O	—	٠,١٦	—
H_2O	٤,٧٢	—	—
فاقد حريق (LOI)	—	٤,٦١	٢٢,٦١
الإجمالي	١٠٠,٠٢	٩٩,٦٧	٩٩,٠٢

١– تلك من بيريدوتيت متغاير، شمال السويد (دى ريتز ١٩٣٥ Du Rietz)

٢– تلك منطقة العطشان، الصحراء الشرقية (جاد وطلعت ١٩٦٩ Gad and Talaat)

٣– صخر التلك–كربونات. منطقة البراميــة، الـصحراء الـشرقية المـصرية (حـسين وأخـرون Hussein et al. ١٩٩٧)

والألومنيوم محل السيليكون، وعندئذ يدخل عدد قليل من أيونات الـصوديوم والبوتاسيوم في البناء البلوري ليعادل الفرق في الشحنات الكهربائية، عندما يحل الحديد كلياً محل الماغنسيوم يتكون المتشابه الشكلي للتلك الذي يعـرف بالمينيسوتيت Minnesotaite ولـه الـصيغة الكيميائيـة $[Fe_3Si_4O_{10}(OH)_2]$ ويكّون سلسلة محاليل صلبة مع التلك. يبين جدول (٦–٢) التحاليل الكيميائية لبعض خامات التلك.

الصفات الفيزيائية والبصرية

اللون أبيض وأبيض فضي ورمادي وأخضر فاتح أو قاتم. البريق لؤلؤى والمعدن النقي نصف شفاف وعديم اللون في القطاعات الرقيقة أما المخدش فلونه أبيض. الصلادة منخفضة (رقم ١ في مقياس موهس للصلادة). يتواجد التلك عادة في كتل صفائحية أو تجمعات ليفية، وفي بعض الأحيان في هيئة كتل متماسكة (شكل٦-٦)، وقليلا مايتواجد في هيئة بلورات ذات شكل الطاولة والتي تظهر مستوى انفصام {001} مكونة رقائق مرنة قابلة للانثناء بدرجة محدودة. يتراوح الوزن النوعى للتلك مابين ٢,٧-٢,٨٢. يمتاز المعدن أيضاً بالملمس الصابونى الناعم ولا يتأثر بالأحماض. المعدن ثنائي المحور سالب وتبلغ معاملات الانكسار ألفا (α) = ١,٥٣٩-١,٥٨٩ وبيتا (β) = ١,٥٨٩-١,٥٩٤ وجاما (γ) = ١,٥٨٩-١,٦ وتبلغ قرينة الانكسار المزدوج (δ) = ٠,٠٥، والزاوية البصرية $(2V)$ =٠-٣٠°. تتغير الخصائص البصرية للتلك بسبب وجود كميات ولو بسيطة من الأيونات مثل التيتانيوم والمنجنيز التي تستبدل الماغنسيوم أو السيليكون، أو بسبب الماء الممتص بين الطبقات الصفائحية في بنية التلك (دير وأخرون ١٩٩٢). التلك صعب الانصهار ولكن يتأثر بالحرارة ويتحول عند درجة حرارة ٨٠٠ درجة مئوية إلي بيروكسين (معدن الإنستاتيت Enstatite) وسيليكا حرة (كريستوباليت Cristobalite). ويقلل وجود أكسيد الحديد الثنائى من الثبات الحراري للتلك (إيفانز وجوجينهايم ١٩٩١ Evans and Guggenheim). يسبب الطحن الشديد Intensive grinding للتلك تغيرات ملحوظة في الخصائص الفيزيو- كيميائية المصاحبة لتحويرات في بنيته البلورية. من هذه التغيرات، عند وضع مسحوق التلك في الماء، تتحرر أيونات الماغنسيوم وتنتقل إلى الماء وذلك نتيجة لضعف الرابطة مابين الماغنسيوم والهيدروكسيل Mg—OH (أجليتى ١٩٩٤ Aglietti). يمتاز تحليل الحيود بالأشعة السينية لمعدن التلك بنتوءات قوية عند المسافات البينية (d-spacing) ٩,٣٤، ٤,٥٦، ٣,١١، ٢,٤٨ ، ١,٨٧ أنجستروم.



شكل ٦-٦: شكل كتلى لمعدن التلك أبيض اللون

يمكن تمييز التلك عن البيروفيلليت عن طريق وضع قطعة من التلك فى نيترات الكوبالت ثم وضعها على لهب بنزن فيعطي لوناً بنفسجياً باهتاً أما البيروفيلليت، عندما يتعرض لنفس الظروف، فيعطى لوناً أزرق. كما أن الزاوية البصرية للبيروفيلليت أكبر من التلك.

التواجدات والصحبة المعدنية

يتكون التلك وهو معدن ثانوي نتيجة تحول الصخور الغنية بعنصر الماغنسيوم خاصة الصخور فوق المافية والدولوميتية وبعض الصخور البركانية. تكون معظم تواجدات التلك في الصخورالنارية فوق المافية المتأثرة بالمحاليل الحرمائية المحملة بثاني أكسيد الكربون وتسمي هذه العلمية بالتحول السائلى أو التحوال CO_2-metasomatism، وغالبا ما يصاحب هذا التحوال تكون السربنتين وبدوره يتحول إلى معدن التلك بنفس العملية:



Olivine + H_2O + CO_2 → Serpentine

أوليفين سربنتين



Serpentine + CO_2 → Talc + magnesite + H_2O

سربنتين تلك ماجنيزيت

يتكون التلك أيضا من الصخور الكربوناتية بواسطة التحول الحراري المنخفض الدرجة Thermal metamorphism لصخور الدولوميت أو الحجر الجيرى الدولوميتى الحاوي على كوارتز, ويحتاج التحول إلي كميات كافة من الماء كما بالمعادلة الآتية:



$$3CaMg(CO_3)_2+4SiO_2+H_2O \leftrightarrow Mg_3(Si_4O_{10})(OH)_2+3CaCO_3+3CO_2$$

كالسيت . تلك . ماء كوارتز دولوميت

يؤدى وجود معدن التلك مع الصخور المتحولة مثل صخور الشيست إلى صحبة معدنية مميزة تشمل كل من التريموليت والكلوريت والسربنتين والأنثوفيليت والديوبسيد والماجنيزيت والبيروفيلليت والكوارتز والدولوميت والكالسيت. يوجد التلك فى أماكن كثيرة فى العالم منها سويسرا وإيطاليا وفرنسا وألمانيا وأمريكا ويوجد أيضاً في عدة مواقع بالصحراء الشرقية في مصر منها درهيب وعطشان وبرانيس وزرقة النعام والبرامية. وفى المملكة العربية السعودية فى مناطق الأمار وجبل فرسان شمال شرق مدينة جدة وينبع وبئر عميق ونبيطة.

الاستخدامات

التلك معدن متعدد الأغراض فهو يدخل في أكثر من ٦٠ تطبيق صناعي (روى ١٩٨٣ Roe) فيدخل أساساً في صناعة الحراريات ويعمل كمادة مالئة في صناعة الورق والبويات والمطاط والبلاستيك، كما يدخل في صناعة مساحيق التجميل والمبيدات الحشرية. بالرغم من أن معظم خامات التلك في العالم ليست بدرجة عالية من النقاوة، فان كل صناعة تتطلب مواصفات محددة لخامات التلك المستخدم مثل درجة البياض وحجم الحبيبات ومعامل الانكسار ونسبة المعادن الصلبة مثل الكوارتز والكربونات والتريموليت (شانج ٢٠٠٢ Chang)، لذلك من الضروري عمل فصل وتركيز لخامات التلك لتنقيتها وتحسين مواصفاتها لاستغلالها في بعض الأغراض مثل مساحيق التجميل وبودرة الأطفال. وقد أُستغل ركاز التلك الناتج من عمليات الفصل لخامات التلك– كربونات المصرية في صناعة الشحومات (العادلى

والوكيل ١٩٩٨ Al-Adly and Al-Wakeel). كما أن التلك صالح لصناعة عوازل الحرارة والكهرباء.

تنتج كل من الولايات المتحدة والصين والهند وفنلندا وفرنسا والنمسا وايطاليا وروسيا ٥٠% من إنتاج العالم من التلك. أنتجت مصر في عام ١٩٨٣–١٩٨٤ حوالي ١٢,٢٠٠ طن وقلت هذه الكمية إلي ٦٥٠٣ طن في عام ١٩٨٩ وإرتفع الإنتاج عام ١٩٩٥ إلى ٣٨,٦٠٨ طن (المساحة الجيولوجية المصرية ١٩٨٤ و١٩٩٥ و١٩٩٧) بينما أنتجت الولايات المتحدة في عام ١٩٨٩ حوالي مليون طن وارتفعت هذه الكمية إلي حوالي ٣,٥ مليون طن في عام ١٩٩٧. بينما أنتجت أوروبا عام ١٩٩٧ حوالي ٢٣ مليون طن (بيرجر ١٩٩١ Burger وكيجان ١٩٩٧ Keegan).

البيروفيلليت Pyrophyllite



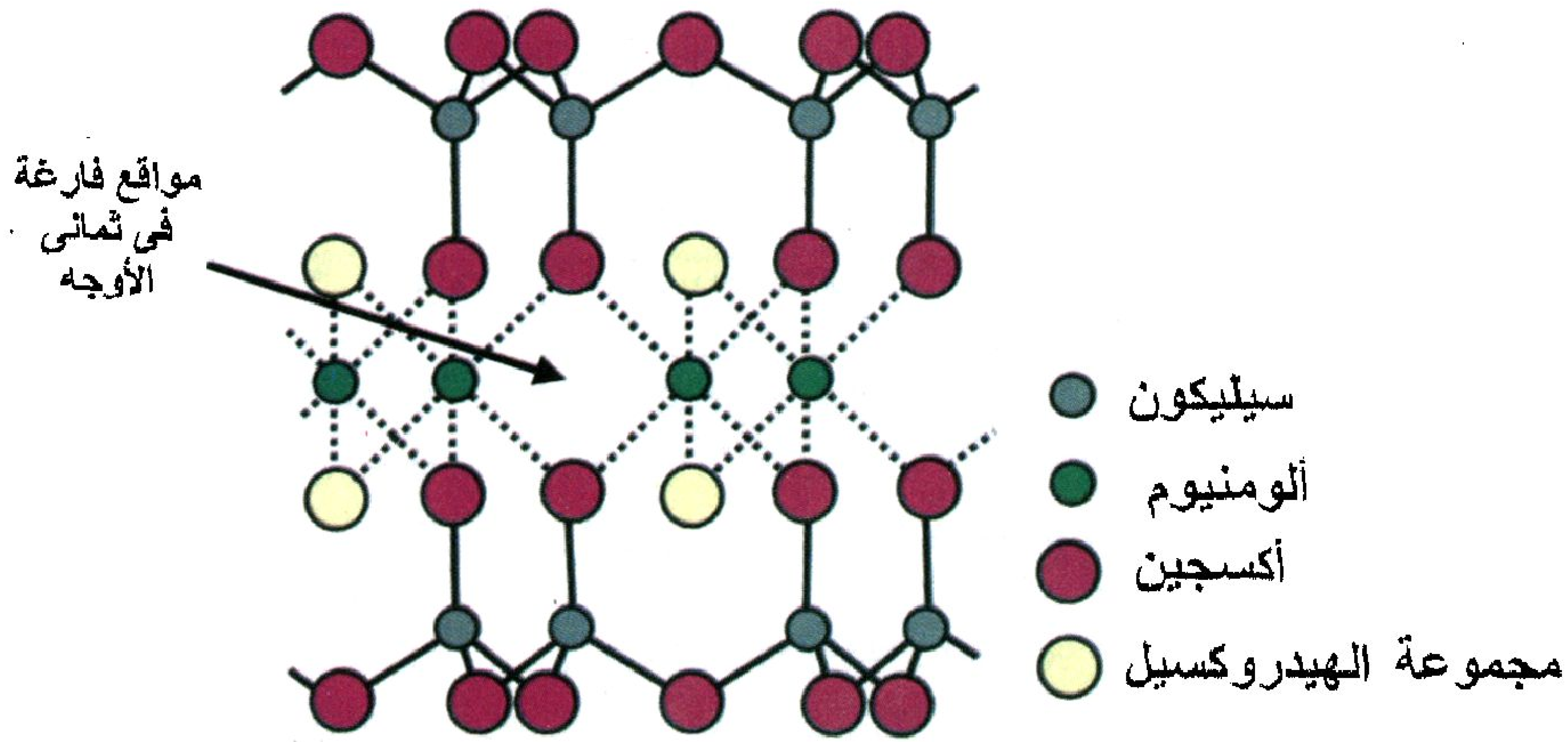
$Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$

البيروفيليت معدن غير شائع نسبياً في الطبيعة ، ويشبه إلي حد كبير التلك من حيث البنية البلورية والمظهر وبعض الخصائص الفيزيائية، ولكن يختلف عن التلك في التركيب الكيميائي والتواجد. يمتاز البيروفيلليت بمقاومة عالية لتحمل الصدمات الحرارية والمقاومة العالية للتآكل، لذلك فهو يستخدم أساساً في صناعة الحراريات والسيراميك. تنفصل أجزاء المعدن عند تسخينه إلى أشكال على هيئة مراوح Fan-like forms وهذا سبب تسميته بهذا الاسم.

البنية البلورية

يتبلور المعدن في فصيلة الميل الواحد وأحياناً الميول الثلاثة. مجموعة النقطة 2/m والمجموعة الفراغية *C2/c* أو $C\bar{1}$. وتبلغ أبعاد خلية الوحدة أ = ٥,١٥ و ب = ٨,٩٢ وج = ١٨,٥٩ انجستروم والنسب مابين هذه الأبعاد أ : ب : ج = ٠,٥٧٧ : ١: ٢,٠٨٤ وتبلغ زاوية (β)= ٩٩,٩٢ درجة ويبلغ ما تمتلكه خلية الوحدة من الذرات (Z) = ٢. تماثل البنية البلورية للبيروفيلليت البنية البلوربة للتلك إلا أن في معدن البيروفيلليت صفائح ثمانيات الأوجه ذات الطبيعة ثنائي الثماني، كما أن ثلثي مواقع ثمانيات الأوجه تشغل

بأيونات الألومنيوم وتبقى باقي المواقع فارغة (شكل ٦-٧). يرجع إرتباط الصفائح (٢:١) المتعادلة كهربائياً في المعدن إلي قوى جذب فندرفال رغم أن جيز (١٩٧٥) Giese أشار إلي وجود قوي جذب إلكتروستاتيكية صغيرة جداً بين هذه الصفائح حتى في حالة الطبقات المتعادلة كهربائياً. مما يسبب الطبيعة اللينة لهذه المعادن.



شكل ٦-٧: البناء البلورى لمعدن البيروفيلليت: تشغل أيونات الألومنيوم ثلثي مواقع ثمانيات الأوجه ويبقى الثلث الأخير فارغاً.

كيميائية المعدن

يتكون البيروفيلليت من سيليكات الألومنيوم والهيدروكسيل. والصيغة الكيميائية المثالية للبيروفيلليت النقى هى $Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$ ويتكون من حوالى ٦٦,٠% SiO_2 و ٢٨,٤% Al_2O_3 و ٥,٠% H_2O. وقد يحدث إحلال بسيط للألومنيوم محل السيليكون، وقد يستبدل الألومنيوم بكل من الحديد الثنائى والثلاثى والماغنسيوم. كما سجل وجود كميات ضئيلة من البوتاسيوم والصوديوم والكالسيوم التي غالباً لا تزيد عن ٠,١% (إيفانز وجوجينهايم ١٩٩١ Evans and Guggenheim). يوضح جدول (٦-٣) التحاليل الكيميائية للبيروفيلليت.

جدول ٦-٣: التحاليل الكيميائية للبيروفيلليت من بعض الدول

الأكسيد	اليابان		كوريا الجنوبية		استراليا	أمريكا		
	١	٢	١	٢	١	١	٢	٣
SiO_2	٦٣,٦٤	٨٧,٣٨	٦٧,٦٠	٦٣,٩٠	٧٩,٦٠	٧٦,٣٢	٦٩,٣٨	٦٥,٩٦
Al_2O_3	٢٩,٦٤	١٠,٠١	٢٦,٣٢	٢٧,٦٨	١٢,٧٠	١٩,٨٠	٢٦,٢	٢٨,٢٥
TiO_2	٠,٢٢	٠,٣٥	—	—	٠,٢٠	—	—	ضئيل
Fe_2O_3	٠,٠٢	٠,١٤	٠,٨٤	٠,٥٦	١,٣٠	٠,١٨	٠,٠٨	٠,١٨
CaO	٠,٠٣	٠,١٠	٠,١٩	٠,٦٧	٠,٠٣	٠,١٤	٠,١٤	—
MgO	٠,٠٤	٠,٠٥	٠,٢٥	٠,٢٧	٠,١٩	—	—	—
K_2O	٠,٠٤	٠,٠٤	٠,٢٥	٠,٨٣	٢,٥٨	٠,٢٧	٠,٠٠٠	—
Na_2O	٠,٠٥	٠,٠٤	٠,٦٥	٠,٧٦	٠,٨٨	٠,٠٧	٠,٢٤	—
فاقد حريق	٦,٣٢	٢,٠٣	٣,٩٣	٥,٣٥	٢,٤٠	٣,٤٤	٤,٥٠	٥,٤١
الإجمالي	٩٩,٩٣	١٠٠,١٤	١٠٠,٠٣	١٠٠,٠٢	٩٩,٩١	١٠٠,٢٢	١٠٠,٣٦	٩٩,٨٠

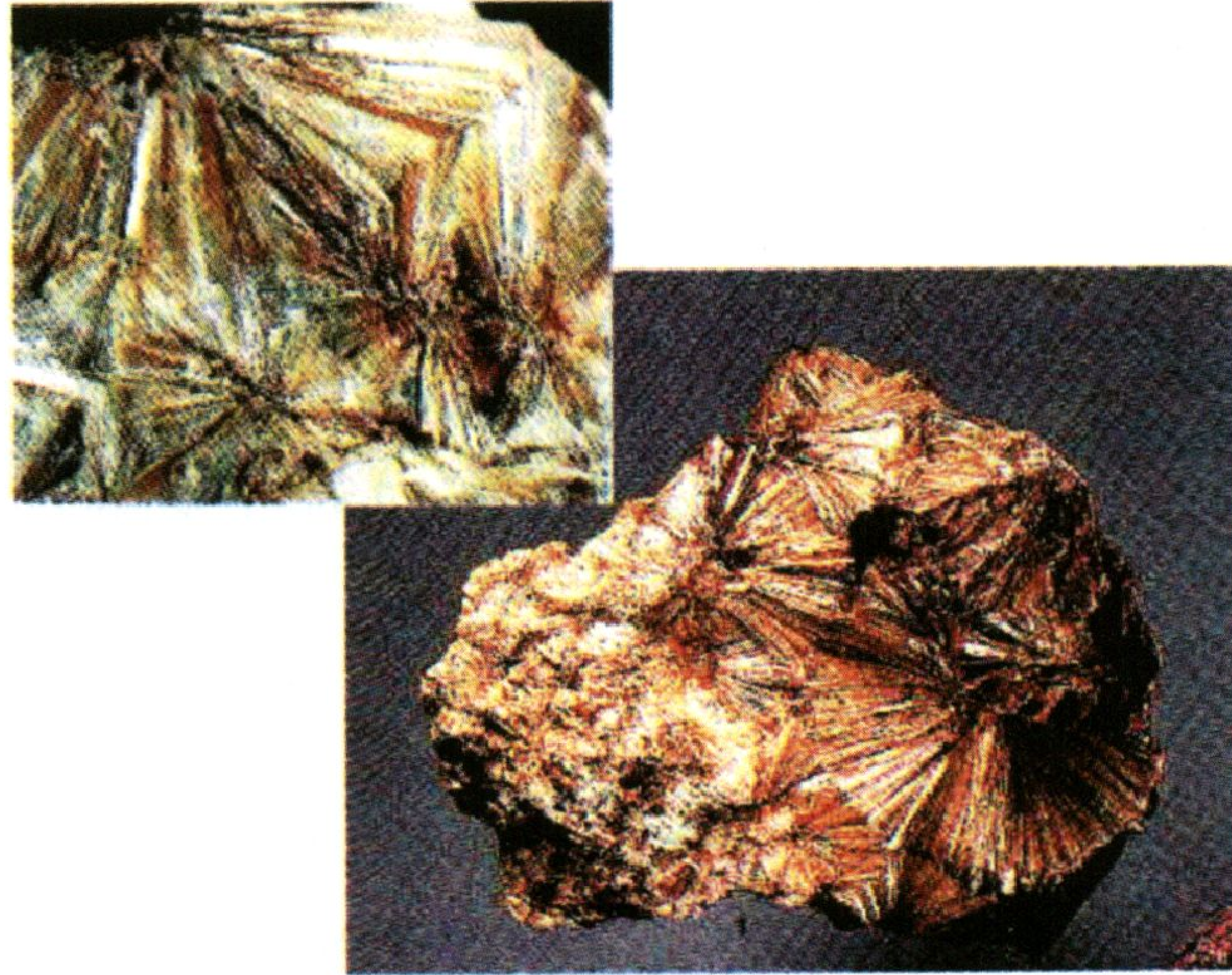
اليابان (فوجيى ١٩٨٣ Fuji): كوريا الجنوبية (أودريسكول ١٩٨٣ O'Driscoll): أستراليا (ديكسون ١٩٨٦ Dickson): أمريكا (١-٢ كورنش ١٩٨٣ Cornish)،
٣ (٢٠٠١): http://rruff.geo.arizona.edu/doclib/hom/pyrophyllite.pdf

الصفات الفيزيائية والبصرية

لون البيروفيلليت أبيض أو أصفر أو أخضر باهت أو رمادي أو بني مخضر. البريق لؤلؤى أو شحمي والمعدن نصف شفاف وعديم اللون في القطاعات الرقيقة والمخدش أبيض. الصلادة = ١- ٢ ويظهر البيروفيلليت مستوى انفصام قاعدى {001} مكونة رقائق مرنة قابلة للانثناء بدرجة صغيرة. الوزن النوعي = ٢,٨-٢,٩. يوجد عادة معدن البيروفيلليت في هيئة كتلية أوصفائحية وكتجماعات شعاعية كبيرة وأبرية وكتلية كروية (شكل ٦-٨). المعدن ثنائى المحور سالب وتبلغ معاملات انكساره ألفا (α) =١,٥٣٤-١,٥٥٦ وبيتا (β) =١,٥٨٦-١,٥٨٩ و جاما (γ) =١,٥٩٦-١,٦٠١. قرينة الانكسار المزدوج (δ)= ٠,٠٥ والزاوية البصرية ($2V$) = ٥٣-٦٢°

لا ينصهر البيروفيلليت عند درجة حرارة ٥٠٠ -٨٠٠°م ولكن عند درجة حرارة ١٠٠٠°م يتحلل المعدن إلي موليت Mullite وكريستوباليت مع

خروج جزيئات الماء (ذاريمبا ١٩٩٥ Zaremba). يتميز البيروفيلليت بقدرات عالية فى تحمل الصدمات الحرارية (كورنش ١٩٨٣ Cornish). وعلى العكس من ذلك فللمعدن قوة استجابة ضعيفة للضغوط وينقل الضغط بدرجة عالية Pressure-transmitting. مقارنة بمعادن السيليكات الصفائحية الأخرى، يمتاز البيروفيلليت وكل من التلك والسميكتيت بخصائص انسيابية جيدة (أولريتش وراب ١٩٩٣ Ullrich and Raab). يعطى البيروفيلليت فى تحليل الحيود بالأشعة السينية نتوءات قوية عند المستويات ٩,٢١ و ٣,٠٧ و ٤,٥٨ أنجستروم.



شكل ٦-٨: معدن البيروفيلليت في الهيئة الشعاعية على هيئة مراوح

التواجدات والصحبة المعدنية

يوجد البيروفيلليت في الصخور المتحولة مصاحبا معدني الكوارتز والكيانيت. يتكون البيروفيلليت بتأثير المحاليل الحرمائية على الصخور البركانية الحامضية والذى يؤدى إلى تحول الفلسبار إلي بيروفيلليت Hydrothermal metamorphism. يتركز إنتاج العالم من البيروفيلليت أساسا في دول شرق أسيا (اليابان وكوريا والصين) والولايات المتحدة واستراليا،

وتنتج اليابان وحدها نصف إنتاج العالم من البيروفيلليت والذي قدر بـــ ٤ مليون طن سنويا (ديكسون ١٩٨٦ Dickson)

الاستخدامات

يستخدم المعدن في نفس الأغراض التي يستخدم فيها التلك. فاستخداماته الرئيسية في صناعة الحراريات والسيراميك. بالإضافة إلي استخدامه كمادة مالئة في صناعة الورق والبويات ومساحيق التجميل والمبيدات الحشرية. في مواد الإنشاءات، يضاف البيروفيلليت إلي كلنكر الأسمنت الأبيض وحصى الطرق الأبيض.

مجموعة الميكا Mica Group

أُشتق اسم الميكا من الاسم اللاتيني Micare الذي يعنى اللامع أو الساطع نسبةً لبريق معادن هذه المجموعة. تشمل هذه المجموعة عدة معادن تتشابه في البنية البلورية وبعض الخصائص الكيميائية والفيزيائية. تتمثل الصيغة العامة لمعادن هذه المجموعة فى $[X_2Y_{4-6}Z_8O_{20}(OH,F)_4]$ ، حيث "X" تمثل أساساً بالبوتاسيوم والصوديوم أو الكالسيوم، وأيضا الباريوم والسيزيوم....الخ, أما "Y" تمثل أساساً بالألومنيوم أوالماغنسيوم أو الحديد، وأيضا المنجنيز أوالليثيوم أوالتيتانيوم...الخ و تمثل "Z" أساساً بالسيليكون والألومنيوم. تمثل مجموعة الميكا بمعادن سيليكات الألومنيوم المائية المعقدة ذات البنية الصفائحية ٢: ١ (T-O-T) التي تتكون من نوعين من الطبقات: طبقتين رباعية الأوجه Tetrahedral sheet متماثلتين تحصر فيما بينها طبقة من ثمانيات الأوجه. تتكون الطبقات رباعية الأوجه بدورها من X_2O_5 (حيث X تتمثل بالحديد الثلاثى والألومنيوم والسيليكون، ونادرا ما تتمثل بالبريليوم). وترتبط رباعيات الأوجه بعضها ببعض بثلاث أركان لتكّون طبقات ذات بعدين ممتدين مكونة حلقات سداسية التماثل (إنظر شكل ٦-١)، يكون الركن الرابع من رباعيات الأوجه ركن من الوحدات ثمانية التناسق. تحتوى أصغر وحدة تركيبية على ثلاث من ثمانيات الأوجه. كل منهم يحتوى غلى كاتيون

عند المركز، هذه الكاتيونات تمثل بالحديد الثنائي والثلاثي والألومنيوم والماغنسيوم.

تصنف مجموعة معادن الميكا بناءً على شحنة الصفائح إلى مجموعتين: (١) مجموعة الميكا الحقيقية المرنة والقابلة للانثناء وفيها شحنة الصفائح تساوى (-١) وهذه تتعادل بدخول كاتيونات أحادية بين الصفائح مثل البوتاسيوم والصوديوم ونادراً السيزيوم والروبيديوم. (٢) مجموعة الميكا الهشة غير المرنة وفيها الشحنة تساوى (-٢) وهذه تتعادل بوجود كاتيونات ثنائية التكافؤ بين الطبقات مثل الكالسيوم والباريوم ونادراً الإسترونشيوم. تنشأ هذه الشحنات نتيجة أحد الأسباب الآتية: ١- إحلال عناصر ثنائية أو ثلاثية كالحديد الثلاثي والألومنيوم محل عناصر رباعية كالسيليكون في رباعيات الأوجه؛ ٢- إحلال عناصر أحادية أو ثنائية محل العناصر الثنائية أو الثلاثية في ثُمانيات الأوجه؛ ٣- وجود مواقع فارغة فى ثمانيات الأوجه و٤- نزع الهيدروجين من مجموعات الهيدروكسيل وتحولها إلى أنيون الأكسجين.

تنقسم كل من هاتين المجموعتين إلى تحت مجموعات. فإذا شُغلت كل مواقع "Y" ثلاثى ثمانيات الأوجه (باحتوائها على Mg_6) تسمى تحت مجموعة ثلاثي الثماني، وفي هذا الوضع يحدث تداخل أو تناسق هندسي جيد بين رباعيات الأوجه وثمانيات الأوجه. عند ذلك تحتفظ طبقة رباعيات الأوجه بالشكل السداسى لحلقاتها وفى مركزها توجد ذرة الأكسجين الطرفية. أما إذا شُغل أثنين من مواقع "Y" ثلاثى ثماني الأوجه بـ Al_4 والثالث فارغ تسمى تحت مجموعة ثنائي الثماني (بيلى ١٩٩١"ب" Baily). وفي هذا الوضع يحدث تداخل غير متناسق Misfit بين رباعيات وثمانيات الأوجه، يصاحب ذلك تشوه جانبي وتحيد ذرة الأكسجين الطرفية عن المركز (شكل ٦-٩). تكوّن الميكا في كل تحت مجموعة متسلسلة محاليل صلبة غير كاملة من الأشكال المتشابهة تتفاوت في مداها بإختلاف الأطراف.

من هنا فإن مجموعة الميكا تضم المعادن التي تتركب كيميائيا من سيليكات الألومنيوم المعقدة مع البوتاسيوم والهيدروكسيل وكذلك الماغنسيوم والحديد الثنائى، وفى بعض الأنواع يوجد الصوديوم والليثيوم والحديد الثلاثى، وفى حالات قليلة يوجد المنجنيز والكروميوم والباريوم والفلورين والتيتانيوم بكميات ضئيلة (حلمي ١٩٩٤).

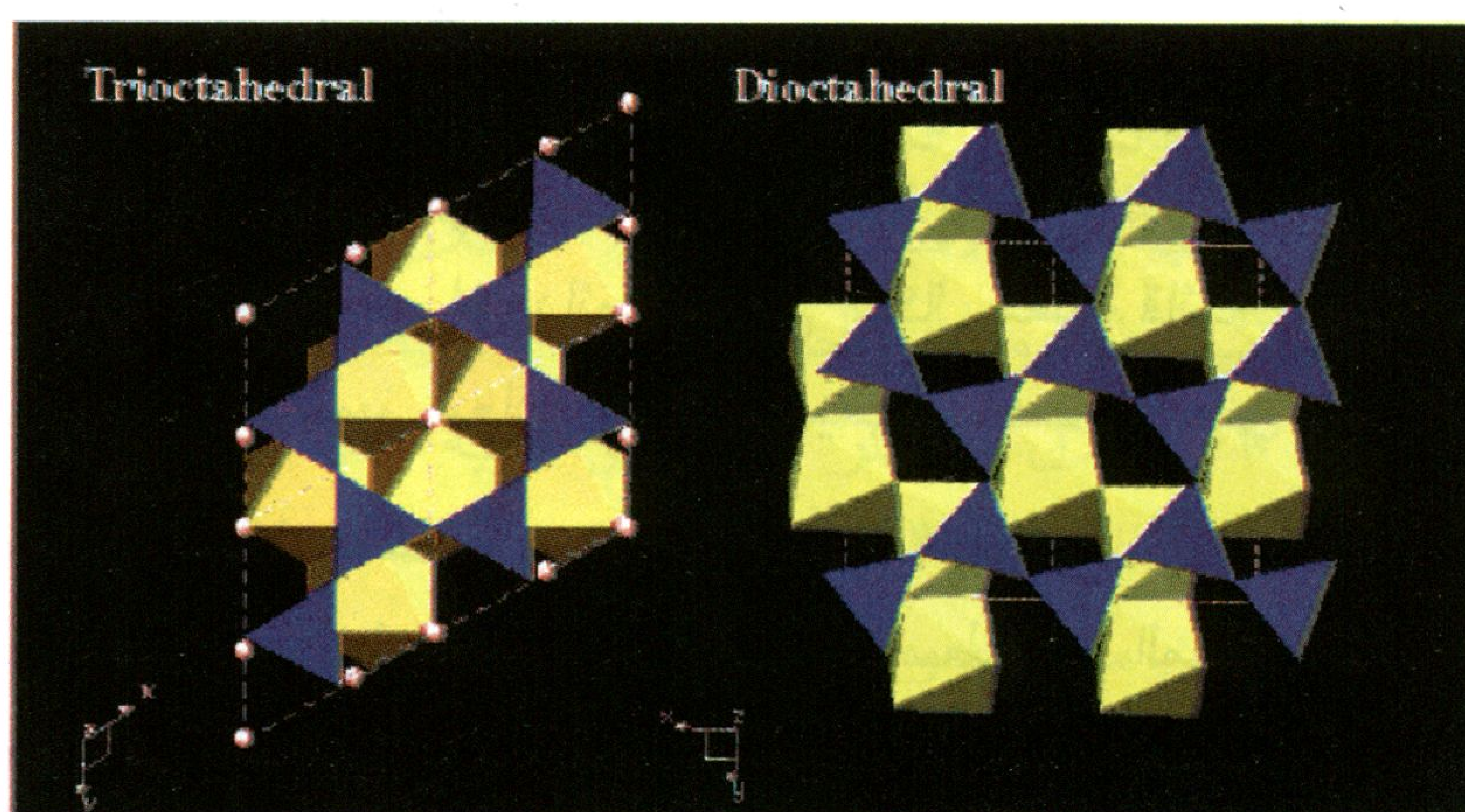
تتبلور معادن الميكا في فصيلة الميل الواحد، ولو أن البلورات لا تبين مثل هذا التماثل البلوري، ويرجع ذلك إلى أن المحور "a" يميل بزاوية تقترب من ٩٠° على المحور "C" (زاوية β). البلورات عادة مسطحة ذات مسطوح قاعدي واضح ولها مظهر سداسي ذو زوايا مقدارها ٦٠° و١٢٠° تقريبا وعلى ذلك تظهر البلورات دائماً إما في أشكال معينة قائمة أو سداسية التماثل (تماثل كاذب). وتتميز معادن الميكا جميعها بإنفصام قاعدي كامل {001}.

لمعادن الميكا خصائص بصرية مميزة فجميعها سالبة وغالبية المعادن ثنائية المحور لها زاوية بصرية ($2V$) متوسطة في المعادن ثنائية الثمانية وصغيرة في المعادن ثلاثية الثمانية. قرينة الانكسار ضعيفة في القطاعات الموازية للانفصام القاعدي وقوية في القطاعات العمودية. التغير اللوني قوى في المعادن الملونة وأعلى امتصاص للون في اتجاهات الذبذبة الموازية للإنفصام القاعدي.

ترجع أهمية مجموعة الميكا إلي أنها تشمل مجموعة من المعادن الأساسية المكونة للصخور بالإضافة إلى تطبيقاتها في الصناعة. فمعادن الميكا تمتاز بأنها غير قابلة للتفاعلات الكيميائية وتتحمل درجات الحرارة العالية. ميكانيكياً، الميكا مرنة وذات خاصية بلاستيكية تميزها عن باقي معادن السيليكات الصفائحية. تجعل البنية الصفائحية الميكا سهلة الإنفصال إلى رقائق شفافة ولدنة. كما أن للميكا خصائص كهربائية مميزة منها المقاومة العالية للكهرباء (شبمان Chapman ١٩٨٣ وتينر Tanner ١٩٩٤).

تستخدم الميكا في صورتين (١) الميكا الصفائحية، وتعتمد مدى أهميتها على درجة نقاوتها وشفافيتها وسمكها والمساحة الممكنة للصفيحة ، لا يمكن

تحسين أى من هذه الخصائص بطرق الفصل والتركيز المختلفة. وعادةً تستعمل الميكا الصفائحية في الأجهزة الكهربائية كعازل للكهرباء والحرارة، وتعتمد الأهمية الاقتصادية للصفائح على مساحة السطح، (٢) الميكا المطحونة والتي يمكن تجهيزها بطرق الفصل الجافة والرطبة (بينبو وأخرون ١٩٨٥ .Benbow et al وشيمان ١٩٨٤ Chapman). وتستعمل الميكا المطحونة كمادة مالئة في الصناعات المختلفة.



شكل ٦-٩: تداخل جيد متناسق Good fit بين رباعيات الأوجه وثمانيات الأوجه في البناء ثلاثي الثماني Trioctahedral وتداخل غير متناسق Misfit في البناء ثنائي الثماني Dioctahedral

بلغ إنتاج العالم من الميكا في التسعينات من القرن الماضي مابين ٠,٢١-٠,٢٥ مليون طن كل عام. شكلت الميكا الصفائحية خُمس هذه الكمية. تنتج الهند ٨٠% من إنتاج العالم من الميكا الصفائحية. بينما تنتج الولايات المتحدة ٥٥% من إنتاج العالم من الميكا المطحونة (هيدريك ١٩٩٥ Hedrick).

سنعرض في الجزء التالي أهم معادن الميكا، وتشمل تحت مجموعة ثنائي الثماني (المسكوفيت والجلوكونيت والمارجريت) وتحت مجموعة ثلاثي الثماني (البيوتيت والليبيدوليت والفلوجوبيت).

تحت مجموعة ثنائي الثماني Dioctahedral

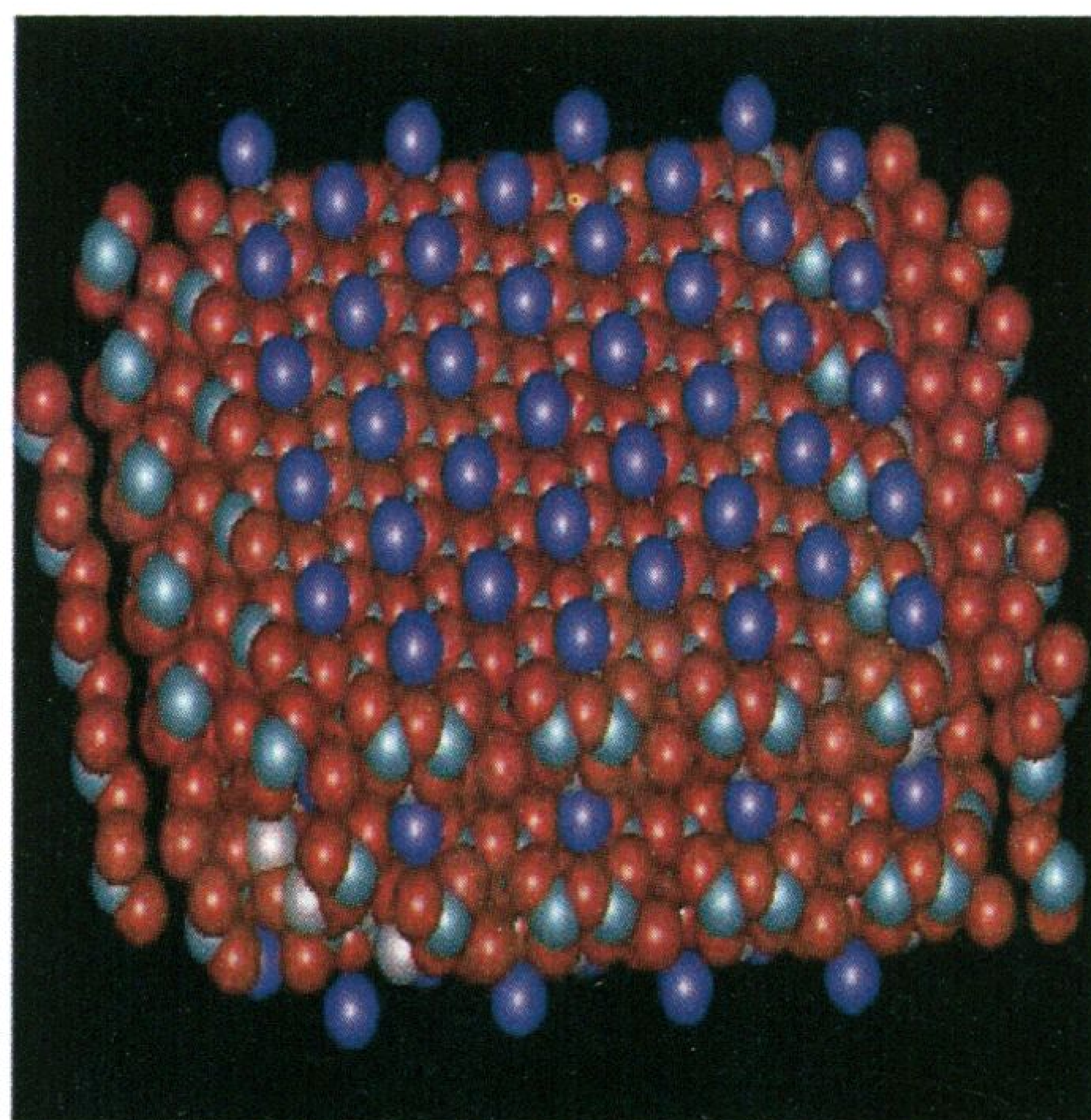
المسكوفيت Muscovite $KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH,F)_2$

أُشتق اسم المسكوفيت من الاسم المعروف به المعدن وهو الزجاج المسكوفى Muscovy-glass حيث كان يستخدم بديلاً للزجاج في الاتحاد السوفيتى السابق. وسمي المعدن من العاصمة الروسية موسكو Moscow. يعرف المسكوفيت أيضاً باسم الميكا البيضاء أو الميكا البوتاسية، وهو أحد معادن الميكا الأكثر إنتشاراً. يعتبر المسكوفيت والفلوجوبيت أهم معادن الميكا الصناعية وذلك لأنهما أقل المعادن إحتواءً علي الحديد. وافتحها لوناً وأكثرها شفافية. من المعروف أن هذه المعادن تمتاز بأنها غير موصلة للحرارة أو للكهرباء، بالإضافة إلي الانفصام الجيد الذي يجعل المعدن يتواجد في هيئة صفائح ذات عزم ميكانيكي عالي. تعتمد القيمة الإقتصادية للمسكوفيت على مساحة صفائحه وخلو بناؤه البلورى من المكتنفات مثل أكسيد الحديد.

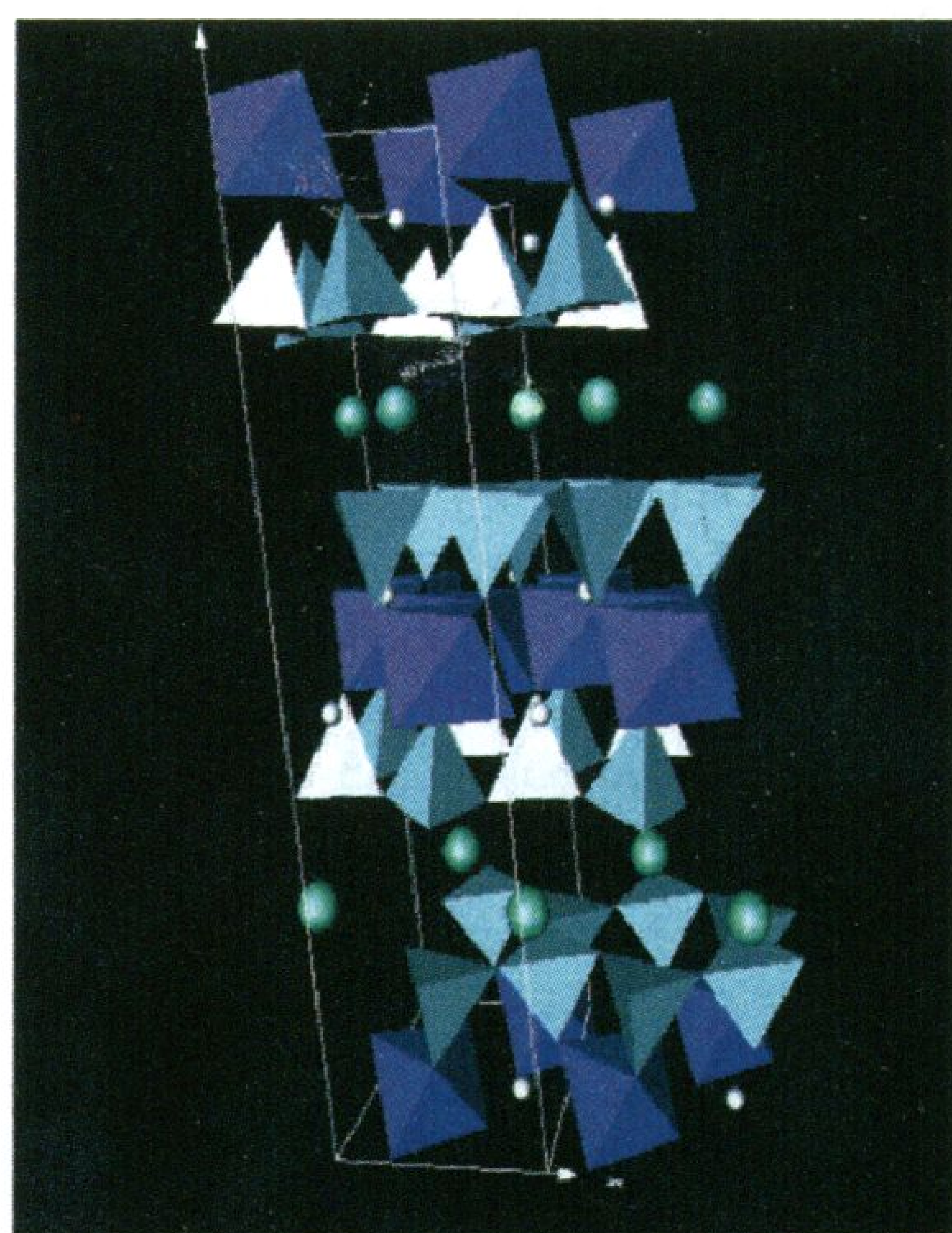
البنية البلورية

يتبلور المعدن في فصيلة الميل الواحد. مجموعة النقطة 2/m والمجموعة الفراغية *C2/c*. تبلغ أبعاد خلية الوحدة أ= ٥,١٩ ، ب=٩,٠٤ ، ج=٢٠,٠٨ أنجستروم وتبلغ نسب هذه الأبعاد أ:ب:ج = ٠,٥٧٤ :١: ٢,٢٢١ وزاوية (β) = ٩٥,٥° وتحتوى خلية الوحدة على أربع ذرات (Z)=٤. يتميز المعدن بإنفصامه القاعدي الكامل {001} الذي يؤدى إلى فصل المعدن إلى صفائح رقيقة مرنة. يمتاز المعدن بالانعكاسات القوية للأشعة السينية عند المسافات البينية (d-spacing) ٩,٩٥، ٣,٣٧، ٢,٦٦، ٢,٤٥، ٢,١٨ أنجستروم.

تم عرض الخصائص العامة للبنية البلورية لمعادن الميكا في الصفحات السابقة. والبناء البلورى للمسكوفيت ذو طبيعة ثنائية الثمانية، يشغل فيه الألومنيوم ربع مواقع رباعيات الأوجه ويشغل السيليكون الثلاث أرباع الأخرى. كما يحتل الألومنيوم مواقع ثمانيات الأوجه. يتخذ البوتاسيوم جميع المواقع ذات عدد التناسق ١٢ بين الصفائح المركبة للمعدن (شكل ٦-١٠).



تركيب صفائح المسكوفيت وإمتدادها في الثلاث أبعاد. لاحظ تكرار طبقة من ذرات البوتاسيوم (بنفسجي) كل ثلاث طبقات (طبقتين من رباعيات الأوجة بينهم طبقة من ثمانيات الأوجه)



ترتبط الصفائح المركبة بأيونات البوتاسيوم (الكرات الخضراء) ، ثمانيات الأوجه (الأزرق) ورباعيات الأوجه (الأخضر)

شكل ٦-١٠: البناء الصفائحى للمسكوفيت فى الثلاث أبعاد

كيميائية المعدن

يتكون المسكوفيت من سيليكات البوتاسيوم والألومنيوم المائية وتتمثل الصيغة الكيميائية فى $KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH,F)_2$. يوضح الجدول (٦-٤) التحاليل الكيميائية لبعض النماذج من معدن المسكوفيت. قد يحدث استبدال لكل من البوتاسيوم والسيليكا والألومنيوم بعناصر أخرى لتكوين أنواع متشابهة شكلاً للمسكوفيت. فقد يستبدل البوتاسيوم بكل من الباريوم والكالسيوم والسيزيوم والروبيديوم والصوديوم ويستبدل الألومنيوم الموجود فى ثمانيات الأوجه بكل من الفانديوم والتيتانيوم والكروميوم والليثيوم والمنجنيز والحديد الثنائي والثلاثي والماغنسيوم. كما تستبدل مجموعة الهيدروكسيل بالفلورين.

الصفات الفيزيائية والبصرية

المعدن شفاف عديم اللون في الصفائح الرقيقة، أما الصفائح السميكة فهي نصف شفافة وتبدو ذات ظلال باهتة من الألوان الصفراء أو الخضراء أو

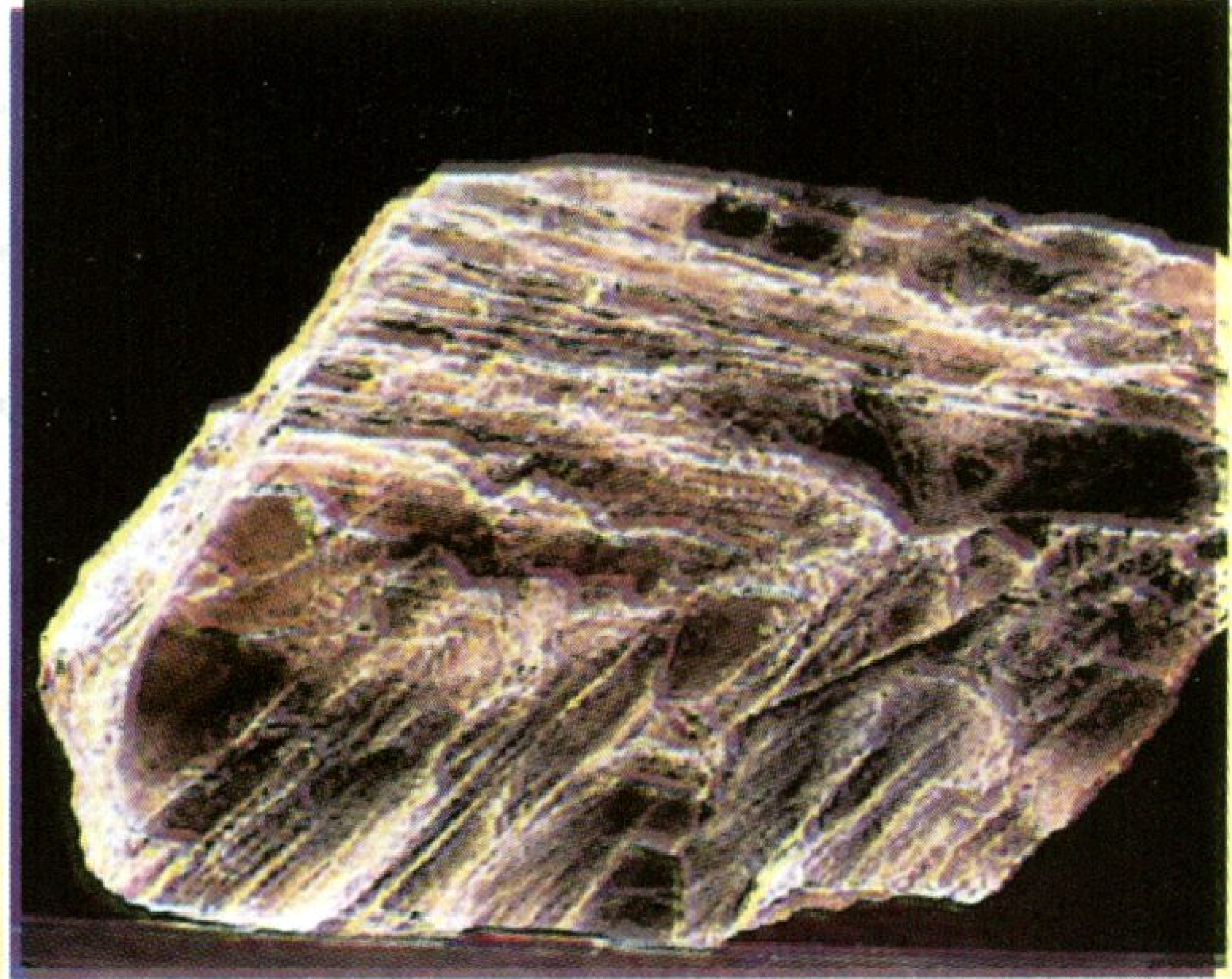
جدول ٦-٤: نماذج من التحاليل الكيميائية لمعدن المسكوفيت

الأكسيد	١	٢	٣	٤
SiO_2	٤٢,٩٧	٤٨,٤٢	٤٦,٤٧	٤٦,٩٣
Al_2O_3	٣٧,٤٠	٢٧,١٦	٣٣,٢٠	٢٩,٦٥
K_2O	٩,٢٤	١١,٢٣	١٠,٣١	١٠,٤٠
Na_2O	١,٣٥	٠,٣٥	٠,٥٥٨	٠,١٩
Fe_2O_3	١,٠٣	٦,٥٧	–	-
FeO	٠,٢١	٠,٨١	٣,٦٨٦	٤,٧٤
MgO	٠,٤٨	–	٠,٣٦٣	١,٤٧
CaO	١,٢٤	–	–	-
TiO_2	٠,١٧	٠,٨٧	٠,٢٨	٢,١٣
F	–	ضئيل	–	–
H_2O^+	٥,٨١	٤,٣١	–	–
H_2O^-	٠,١٥	٠,١٩	–	–
المجموع	١٠٠,٢٧	٩٩,٩١	٩٤,٨٨	٩٥,٥٣

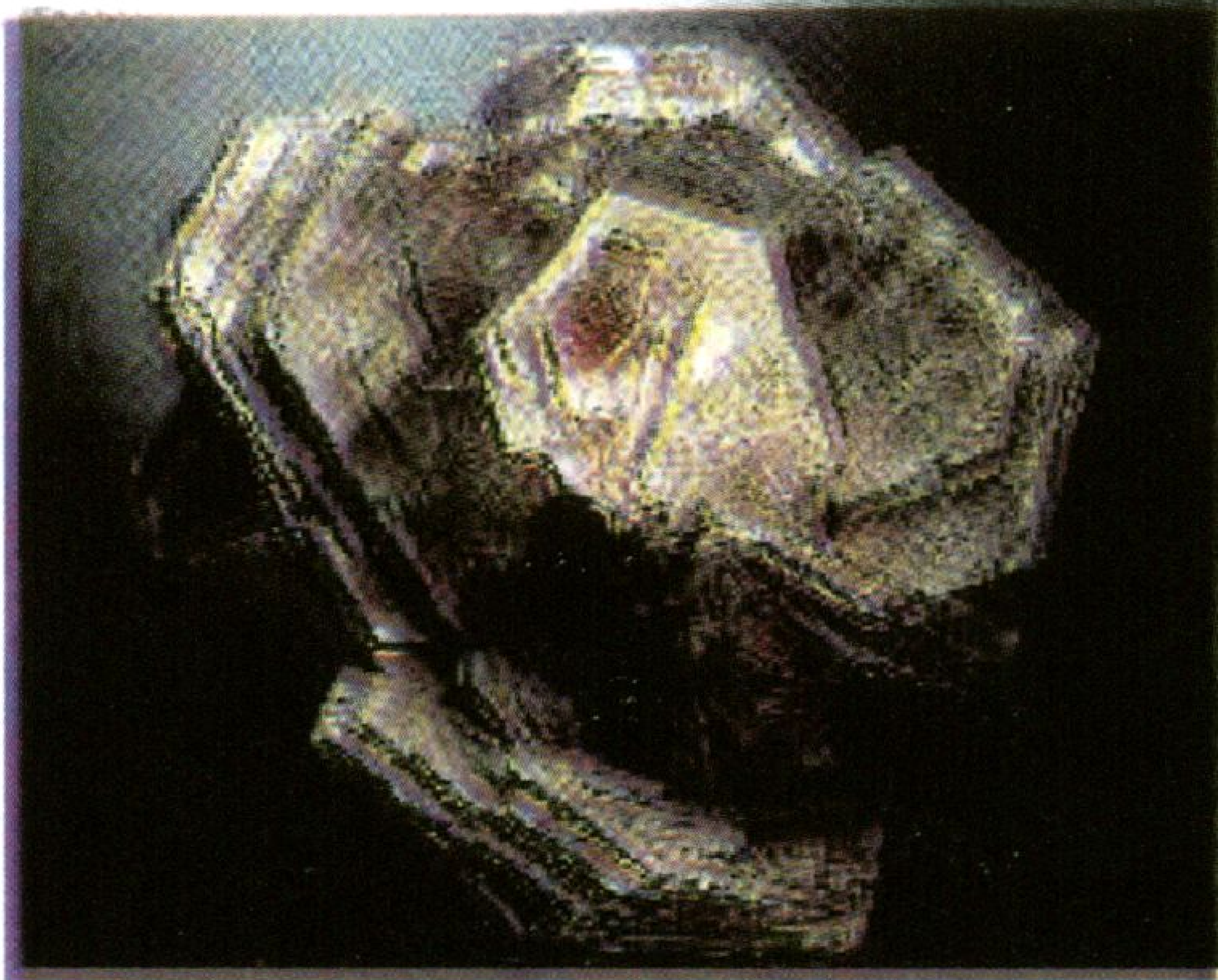
١- مسكوفيت – بيجماتيت، منطقة حفافيت (الشاذلى وأخرون ١٩٧٥ أ)
٢- مسكوفيت من شيست – Inverness-shire (شانج ٢٠٠١)
٣- مسكوفيت من صخور النيس بوادى جيثوا السعودية (الفيلالي وعبد النبى ٢٠٠٣)
٤- مسكوفيت من صخور النيس في وادى حيمور أبو سويل (عبد النبى وفريش ٢٠٠٢)

الحمراء. البريق زجاجي أو حريري أو لؤلؤى والمخدش أبـيض. صـلادة المعدن = ٢-٢,٥. الإنفصام قاعدى موازى للمستوى {001} والوزن النوعي = ٢,٧٦ – ٣,١٠. يوجد المعدن في هيئة صفائح كبيرة أو صغيرة أو فـي طاولات سداسية (شكل ٦-١١) أو في هيئة قشور قد تكون متجمعة في هيئة ريشية أو كروية لكن نادراً ما توجد بلورات واضحة. المعدن ثنائى المحـور سالب ومعاملات انكساره تتراوح بين ألفا (α) =١,٥٦٠- ١,٥٧٢ وبيتا (β)= ١,٥٩٣- ١,٦١١ وجاما (γ) = ١,٥٩٩- ١,٦١٥. قرينة الانكسار المزدوج (δ)= ٠,٠٣٦-٠,٠٤٩ والزاوية البصرية ($2V$)= ٣٠-٤٧°. يتميز المعـدن

عن الفلوجوبيت بكونه لا يتحلل بحامض الكبريتيك وعن معدن الليبيدوّليت بكونه لا يعطي لون قرمزى للهب بنزن.



(أ): صفائح من المسكوفيت على شكل كتاب



(ب) مسكوفيت على شكل طاولات سداسية

شكل ٦-١١: الهيئة البلورية للمسكوفيت (http://mineral.galleries.com)

التواجدات والصحبة المعدنية

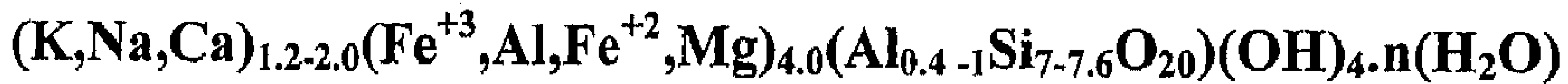
المسكوفيت معدن واسع الانتشار وشائع ضمن المعادن المكونة للصخور. ويوجد بصفة مميزة فى الصخور النارية الحامضية الجوفية مثل الجرانيت والجرانيت البيجماتيتي. يصاحب المسكوفيت معادن الكوارتز والفلسبار والتورمالين والبيريل والفلوريت في صخور البيجماتيت وقد يتواجد في بلورات كبيرة تشبه الكتاب، قد تصل إلي عدة أقدام في أبعادها. يوجد المسكوفيت فى مواقع عديدة بجبال الألب، وتوجد أهم وأكبر خامات المسكوفيت في روسيا والهند وقد وُجدت بلورات تصل أبعادها من ٧ إلى ٩ أقدام في أحد المناجم بأونتاريو بكندا. تنتج الولايات المتحدة الأمريكية كميات قليلة من الميكا الصفائحية ولكنها أكبر منتج للمسكوفيت المطحون. يوجد المسكوفيت أيضاً في الصخور المتحولة، ويعتبر المكون الأساسي لبعض صخور الشيست الميكائى. كما يوجد في بعض صخور الشيست في هيئة تجمعات ليفية من قشور دقيقة ويعرف عندئذ بالسريسيت. يوجد فى المملكة العربية السعودية فى منطقة السوداء بأبها وجنوب وادى قديد ووادى

الحمض. ويوجد فى مصر فى عدة أماكن بالصحراء الشرقيـة منها حفافيت ووادى حيمور.

الاستخدامات

يعتبر المسكوفيت من المعادن الصناعية الهامـة. أول استخدام عـرف للمسكوفيت كان في صناعـة الزجاج المسكوفـي في الإتحـاد السـوفيتي السابق وذلك يرجـع إلى خاصية الانفصام القاعـدي وإمكانية فصلة إلـى صفائح رقيقة شفافـة. كما أن صفائح المسكوفيت تمتـاز بمقاومتها للحرارة والازدواج الكهربائي Dielectric مما يجعلهـا تـستعمل فـي الأجهـزة الكهربائيـة. واستعمل المعدن قديماً في صناعة أبواب الأفران واستبـدل لاحقاً بالمواد الحراريـة. يدخل المسكوفيت المطحون في صناعـة ورق الحائط لكى يكسبـه البريق اللامع وكذلك في مواد التجميل وكمـادة مالئـة وملينـة فـي الزيـوت (كلـن وهيرلبـوت ١٩٩٣ Klein and Hurlbut وبيبر ٢٠٠١ Pepper)

الجلوكونيت Glauconite



$(K,Na,Ca)_{1.2\text{-}2.0}(Fe^{+3},Al,Fe^{+2},Mg)_{4.0}(Al_{0.4\text{-}1}Si_{7\text{-}7.6}O_{20})(OH)_4.n(H_2O)$

يعتبر الجلوكونيت معدن الميكا الوحيد الذي يتكون في الرواسب البحرية خاصة في الرمال الخضراء وعادة يتكون في هيئة تجمعات مـن الكـرات المستديرة ودقيقة الحجم. لبعض الإعتبارات، يعتبر الجلوكونيت من المعادن الطينية. لكن سيتم عرض وصف الجلوكونيت هنا كمعدن من معادن الميكا.

البنية البلورية

يتبلور المعدن في فصيلة الميل الواحد. مجموعة النقطة 2/m والمجموعة الفراغية *C2/m* وتبلغ أبعاد خلية الوحدة أ= ٥,٢٣ و ب=٩,٠٦ وج=١٠,١٥ أنجستروم وزاوية (β) = ١٠١° وتحتوى خلية الوحدة علـى ذرة واحـدة (Z)=١. وبشكل عام لا تتوافر البلورات الجيدة للجلوكونيت. بالرغم من أن

الجلوكونيت ينتمي إلي الميكا ذات الطبيعة ثنائي الثماني الأوجه، فهو يختلف عن المسكوفيت في إحتوائه علي قدر يأخذ فى الإعتبار من الكاتيونات ثنائية التكافؤ في الموقع "Y". يماثل البناء البلورى للجلوكونيت البنـــاء البلـــورى للبيوتيت.

كيميائية المعدن

معدن الجلوكونيت هو سيليكات مائية للبوتاسيوم والحديـــد والماغنـــسيوم والألومنيوم ويشبه البيوتيت في تركيبه الكيميائي. يبين جدول (٦-٥) أمثلـــة من التحليل الكيميائي لمعدن الجلوكونيت من الحجر الرملي. يتضح من

جدول ٦-٥: أمثلة من التحاليل الكيميائية لمعدن الجلوكونيت.

الاكسيد	نيوزلندا	مصر
SiO_2	٤٩,٢٩	٥١,٥٢
TiO_2	٠,١٢	–
Al_2O_3	٣,١٧	٥,١٩
Fe_2O_3	٢١,٧٢	٢٣,٤٠
FeO	٣,١٩	
MnO	شحيح	–
MgO	٠,٧٤	٤,٥٣
CaO	٣,٨٥	٠,٠٥
Na_2O	٠,١٢	٠,٢٦
K_2O	٦,٠٢	٧,٧٧
P_2O_5	٠,٣٢	–
Cl	–	٠,١٧
F	–	–
H_2O	٧,٢١	–
H_2O	٤,٦٠	–
المجموع	١٠٠,٣٥	٩٢,٨٩

١- جلوكونيت من حجر رملي بأوتاجو- نيوزلنـــدا (هيوتـــون وســـيلاى ١٩٤١ Hutton and Seelye)

٢- جلوكونيت من الرمال الخضراء - منجم الجديدة- الواحات البحرية- مصر (مساعد وسرور ٢٠٠٠ Mesaed and surour)

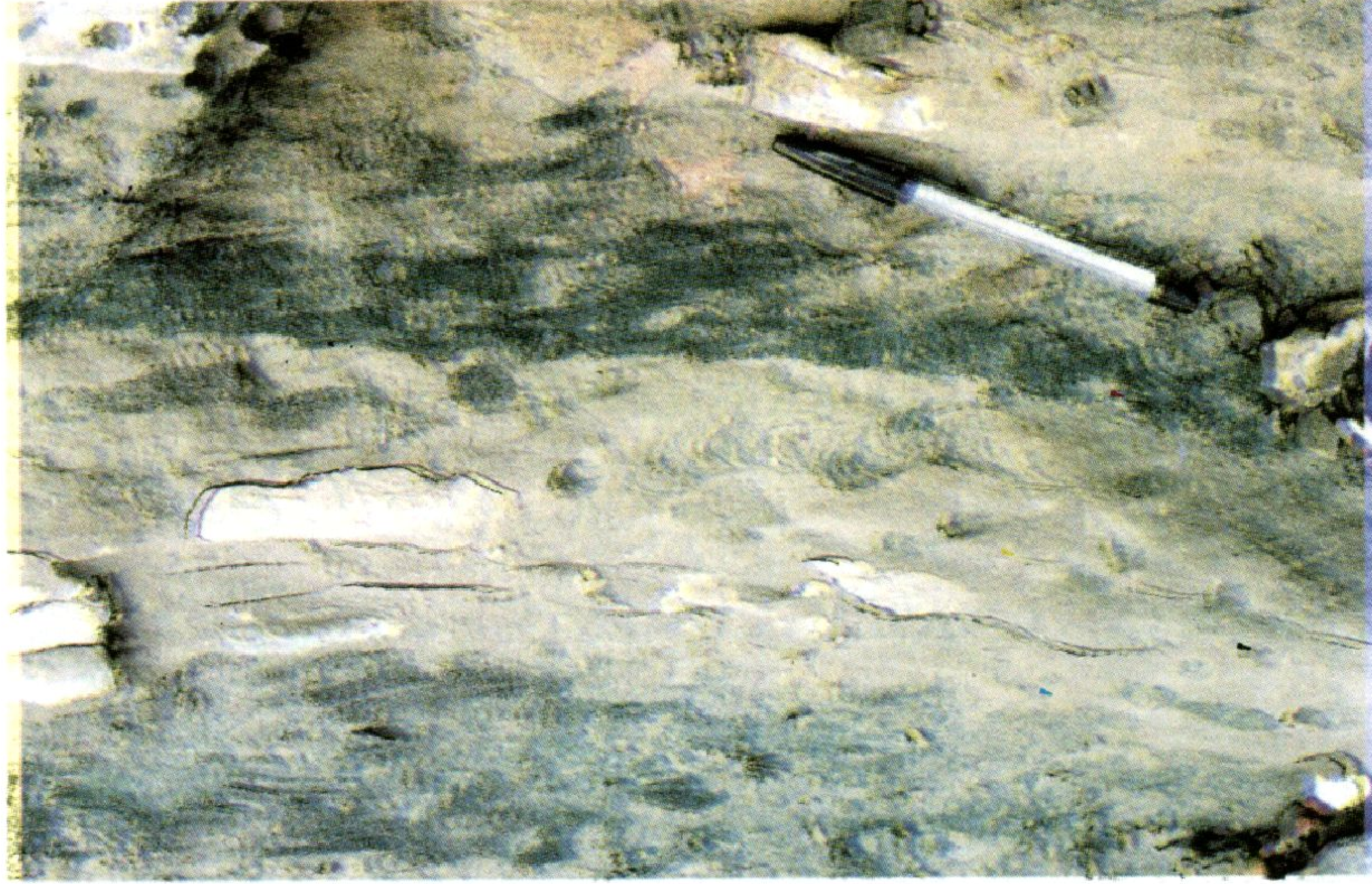
الصيغة الكيميائية للمعدن، أن عدد كاتيونات موقع "Y" يقترب من ٤ بينما عدد الكاتيونات التي تحتل الموقع "X" بين الطبقات المركبة أقل من ٢ وفي نفس الوقت أكثر من عدد كاتيونات الألومنيوم في رباعيات الأوجه (موقع Z). الزيادة في أيونات "X" تتعادل في الجلوكونيت بدخول كاتيونات ثنائية التكافؤ بدلاً من ثلاثية في الموقع "Y". كما أن عدد أيونات الحديد الثلاثى أكثر من الألومنيوم في الموقع "Y".

الصفات الفيزيائية والبصرية

يتخذ المعدن اللون الأخضر أو الأخضر المصفر أو الأخضر المزرق ويوجد المعدن عادةً في صورة كرات خضراء Green pellets (شكل ٦-١٢). بريق المعدن ترابى وهو نصف شفاف، ذو لون أخضر أو أخضر مصفر في القطاعات الرقيقة ومخدش الجلوكونيت أخضر. الصلادة=٢ والمعدن ذو إنفصام قاعدي كامل موازى للمستوى {001}. يتراوح الوزن النوعي مابين ٢,٤٠-٢,٩٥. المعدن ثنائي المحور سالب وتتراوح معاملات انكساره بين ألفا (α)=١,٥٩٢- ١,٦١٠ وبيتا (β)= جاما (γ)= ١,٦١٤-١,٦٤١، وتزداد معاملات الانكسار ودرجة اللون بزيادة نسبة الحديد الثلاثى. قرينة الانكسار المزدوج (δ)= ٠,٠١٤-٠,٠٣٠ والزاوية البصرية ($2V$) =٠-٢٠°. يمتاز الجلوكونيت بالتغير اللوني من اللون الأخضر أو الأخضر مصفر إلي الأخضر المزرق أو الأخضر المصفر الغامق. يشبه الجلوكونيت معدن الكلوريت من حيث اللون ولكن الكلوريت يمتاز بانخفاض قرينة الانكسار.

التواجدات والصحبة المعدنية

من المسلم به أن معدن الجلوكونيت يتكون من أنواع مختلفة من المواد بواسطة عمليات تحويرية تحدث فى البيئة البحرية الضحلة. يتضح من محتوى المعدن من الحديد الثنائى والثلاثى أن الجلوكونيت يتكون في بيئة إختزال تحدث أساساً بفعل البكتيريا التى تعمل على إختزال الكبريتات. كما يتكون بعض الجلوكونيت بتجميع الحبيبات الغروية المعلقة Coagulation of



شكل ٦-١٢: رمل جلوكونيتى متواجد فى تكوينات للطين فى إنجلترا

Glauconitic sand in the basal London Clay, Whitecliff, L.O.W.
http://www.soton.ac.uk/~imw/jpg/2WLondon-glauc.jpg

suspended colloidal particles في ماء البحر. لهذ السبب يتواجد المعدن عادة في صورة كرات خضراء في الصخور الرسوبية البحرية. فيوجد في الحجر الجيري غير النقي أو الحجر الرملي أو الحجر الغرينى Siltstones. وتحتوي الرمال الخضراء علي نسبة كبيرة من كرات الجلوكونيت. يوجد المعدن بكميات وفيرة في مصر وخاصة في الواحات البحرية ويسمى طفلة الجلوكونيت والتي تتمثل بالغطاء الصخرى لخامات الحديد.

الاستخدامات

يستعمل الجلوكونيت كمعدن طيني أكثر من كونه ميكائي، لذلك فهو يستعمل في صناعة الحراريات أو في سوائل حفر الأبار.

المارجريت Margarite



$CaAl_2(Al_2Si_2O_{10})(OH)_2$

سمى المعدن بهذا الاسم نسبةً إلى بريقه اللؤلؤى. يمتاز المارجريت بأن صفائحه هشة قابله للكسر لذلك يسمي بالميكا القسمة Brittle mica، ويشبه معدن الفلوجوبيت إلا أنه يحتوى على الكالسيوم.

البنية البلورية

يتبلور المعدن في فصيلة الميل الواحد. مجموعة النقطة 2/m والمجموعة الفراغية *C2/c*. وتبلغ أبعاد خلية الوحدة أ= ٥,١٠ ، ب = ٨,٨٣ ، ج= ١٩,١٥ أنجستروم ونسبة هذه الأبعاد لبعضها هى أ:ب:ج = ٠,٥٧٥: ١: ٢,١٨٦. تحتوى خلية الوحدة على أربع ذرات (Z)=٤ ويتواجد عادة في صورة تجمعات قشرية ذات هيئة صفائحية ونادراً في هيئة بلورية واضحة.

يعتبر المعدن من معادن الميكا ذات البناء ثنائي الثماني المماثل لبناء المسكوفيت، إلا أن الكالسيوم يمثل نوع الكاتيونات المتواجدة بين الصفائح Interlayer cations وذلك بدلاً من البوتاسيوم في المسكوفيت وغالبية معادن الميكا. هذا الاستبدال يزيد من شحنة الطبقات، ولكي تتعادل الشحنات يدخل مزيد من الألومنيوم ليحل محل السيليكا في رباعيات الأوجه ويصبح تركيبها ($Al_2Si_2O_{10}$) بدلا من ($AlSi_3O_{10}$). يزيد وجود الكاتيونات ثنائية التكافؤ من قوة الروابط بين الطبقات مما يتسبب في الطبيعة الصلبة نسبياً للمعدن. يعطى المعدن انعكاسات للأشعة السينية عند مسافات d-spacing تساوى ٤,٤٠، ٣,٣٩، ٣,٢٠، ٢,٥١، ٢,٤٢ أنجستروم.

كيميائية المعدن

يتكون المارجريت من سيليكات الكالسيوم والألومنيوم المائية $CaAl_2(Al_2Si_2O_{10})(OH)_2$ حيث يحتوى المعدن على ١٤,٠% CaO ، ٥١,٣% Al_2O_3 ، ٣٠,٢% SiO_2 ، ٤,٥% H_2O. قد يحدث إحلال لكمية بسيطة من الكالسيوم بالصوديوم وعندئذ تزداد الشحنة السالبة للطبقات وتتعادل إما بإحلال أنيونات الأكسيجين O^{2-} بالهيدروكسيل OH^- أو بزيادة أيون السيلكون Si^{4+}. يذوب المعدن جزئياً وببطئ بحامض الهيدروكلوريك المغلي.

الصفات الفيزيائية والبصرية

يأخذ المعدن لون بنفسجي أو أبيض أو رمادي أو أصفر باهت أو أخضر باهت والبريق زجاجي إلي لؤلؤى (شكل ٦-١٣). المعدن نصف شفاف

وعديم اللون في القطاعات الرقيقة. صلادة المارجريت أعلى من الميكا وتتراوح من ٣,٥- ٥. الإنفصام قاعدى موازى للمستوى {001} وصفائح المارجريت صلبة قابله للكسر. الوزن النوعي ٣,٠-٣,١. المعدن ثنائى المحور سالب وتتراوح معاملات الانكسار مابين ألفا (α) =١,٦٣٢- ١,٦٣٨ وبيتا (β)=١,٦٤٣- ١,٦٤٨ وجاما (γ) = ١,٦٤٥- ١,٦٥٠. تبلغ قرينة الانكسار المزدوج (δ)= ٠,٠١-٠,٠١٤ والزاوية البصرية ($2V$)=٤٠- ٦٧°. تقل معاملات الانكسار والزاوية البصرية للمعدن كلما زادت نسبة إحلال الصوديوم للكالسيوم (دير وأخرون ١٩٩٢).



شكل ٦-١٣: بلورات صفراء ليفية من المارجريت من منجم قديم للتنجستن بولاية كونكتيكت الأمريكية. Long Hill/Old Tungsten Mine in Trumbull,
http://webmineral.com/specimens/picshow.php?id=247

التواجدات والصحبة المعدنية

يوجد المعدن عادة في رواسب الأميرى Emery deposits مصاحبا للكوراندوم Corundum, Al_2O_3 والدياسبور Diaspore, AlO(OH) ويبدو أنه من نواتج التجوية لتلك المعادن. يوجد المارجريت في الولايات المتحدة مصاحباً لرواسب الكوراندوم في كارولينا الشمالية ومصاحباً للأميرى في

بنسلفانيا. يوجد المعدن أيضاً مصاحباً للتورمالين والشتروليت في صخور الشيست الكلوريتى والشيست الميكائى.

الاستخدامات

يستخدم كمادة مالئة في بعض الصناعات.

تحت مجموعة ثلاثي الثماني Trioctahedral

البيوتيت Biotite



$K(Mg,Fe)_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2$

ترجع تسمية معدن البيوتيت إلي عام ١٨٤٧ نسبة للعالم الفيزيائي الفرنسي جين بابتيست بيوت J.B. Biot, ١٧٧٤-١٨٦٢ الذي درس الخصائص البصرية لمعادن الميكا. كما يطلق عليه اسم لبيدوميلان Lepidomelane، وإذا إحتوى علي المنجنيز يسمي بالمنجانوفيلليت Manganophyllite. ولكن البيوتيت هو الاسم المشهور به المعدن.

يسمى المعدن بناءً علي نسبة الماغنسيوم إلي الحديد فإذا كانت نسبة الماغنسيوم \ الحديد < ٢ يسمى المعدن بيوتيت أما إذا كانت > ٢ يطلق علي المعدن اسم الفلوجوبيت. وهناك سلسلة محاليل صلبة بين البيوتيت والفلوجوبيت وكلما زادت نسبة الحديد في المعدن كلما اغمق لونه وقلت أهميته الاقتصادية لذا تسمى بالميكا السوداء أو ميكا الحديد أو خام الحديد الميكائي.

البنية البلورية

يتبلور المعدن في فصيلة الميل الواحد. مجموعة النقطة 2/m والمجموعة الفراغية *C2/m*. تبلغ أبعاد خلية الوحدة أ= ٥,٣١ وب= ٩,٢٣ وج= ١٠,١٨ أنجستروم ونسبة هذه الأبعاد لبعضها هى أ:ب:ج= ٠,٥٧٥: ١: ١,١٠٣. مقدار زاوية بيتا (β)= ٩٩,١٨° وتحتوى خلية الوحدة على ذرتين (Z)= ٢. تنتمي البنية البلورية للبيوتيت إلي الميكا من نوع ثلاثى الثمانى. البلورات

مسطحة أو منشورية قصيرة ذات مسطوح قاعدي واضح. البلورات نـادرة ولكن يغلب وجود المعدن في هيئة كتل صفائحية غير منتظمـة (شـكل ٦-١٤). كذلك يوجد المعدن في هيئة قشور منتشرة في الصخر أو متجمعة في هيئـة مجموعات قشرية. يمتاز المعدن بالنتؤات القوية للأشعة السينيـة عند (d-spacing) ١٠,١ ، ٣,٣٧ ، ٢,٦٦ ، ٢,٥٤، ٢,١٨ أنجستروم.

كيميائية المعدن

يتكون التركيب الكيميائي للمعدن من سيليكات البوتاسـيوم والماغنـسيوم والحديد والألومنيوم والهيدروكسيل، $K(Mg,Fe)_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2$، ولكن قد يحدث أن يحل الفلورين محل الهيدروكسيل ويحل الحديد الثلاثي والألومنيوم محل الماغنسيوم ويحل الألومنيوم محل السيليكون. بالإضافة إلي إحلال كل من الصوديوم والكالسيوم والباريوم والروبيديوم والسيزيوم محل البوتاسيوم. يشبه التركيب الكيميائي للبيوتيت التركيب الكيميـائي للفلوجوبيـت وهنـاك سلسلة كاملة من المحاليل الصلبة بين المعدنين. فى البيوتيت يدخل الحديـد محل جزء من الماغنسيوم كما يدخل الألومنيوم بعدد أكثر في المواقع رباعية الأوجه وثمانية الأوجه. يتحلل البيوتيت بوضعه فـي حـامض الكبريتيـك المركز الساخن ويعطي محلول أبيض اللون مثل لون اللبن. ينتج البيوتيـت ماء عند تسخينه في أنبوبة مغلقة. يوضح جدول (٦-٦) أمثلة من التحاليـل الكيميائية لمعدن البيوتيت.

الصفات الفيزيائية والبصرية

لون المعدن أخضر داكن أو بني إلي أسود وقد يكون أصفراً باهتـاً فـي بعض الحالات النادرة أما الصفائح الرقيقة فلونهـا مـدخن (شـكل ٦-١٤) وبذلك يسهل تفريقها عن المسكوفيت ذو الرقائق عديمة اللون تقريبا. البريق لامع والمعدن نصف شفاف ويمتاز بخاصية التغير اللوني فـي القطاعـات الرقيقة من الأصفر إلي الأصفر الداكن إلى البني والمخدش رمادى. الصلادة = ٢,٥-٣ والانفصام قاعدي كامل {001} والـوزن النـوعى=٢,٨-٣,٢. تتميز صفائح البيوتيت بالمرونة العالية. المعدن ثنائى المحور سالب وتبلـغ

معاملات انكساره ألفا (α) =١,٥٧- ١,٦٣ وبيتا (β)=١,٦١- ١,٧٠ وجاما (γ)= ١,٦١- ١,٧٠ وتبلغ قرينة الانكسار المزدوج (δ)= ٠,٠٣-٠,٠٧ والزاوية البصرية ($2V$)=٠- ٢٥°. من الخصائص التي تميز معدن البيوتيت عن غيره الإنفصام الميكائي واللون الغامق.

جدول ٦-٦: أمثلة من التحاليل الكيميائية لمعدن البيوتيت.

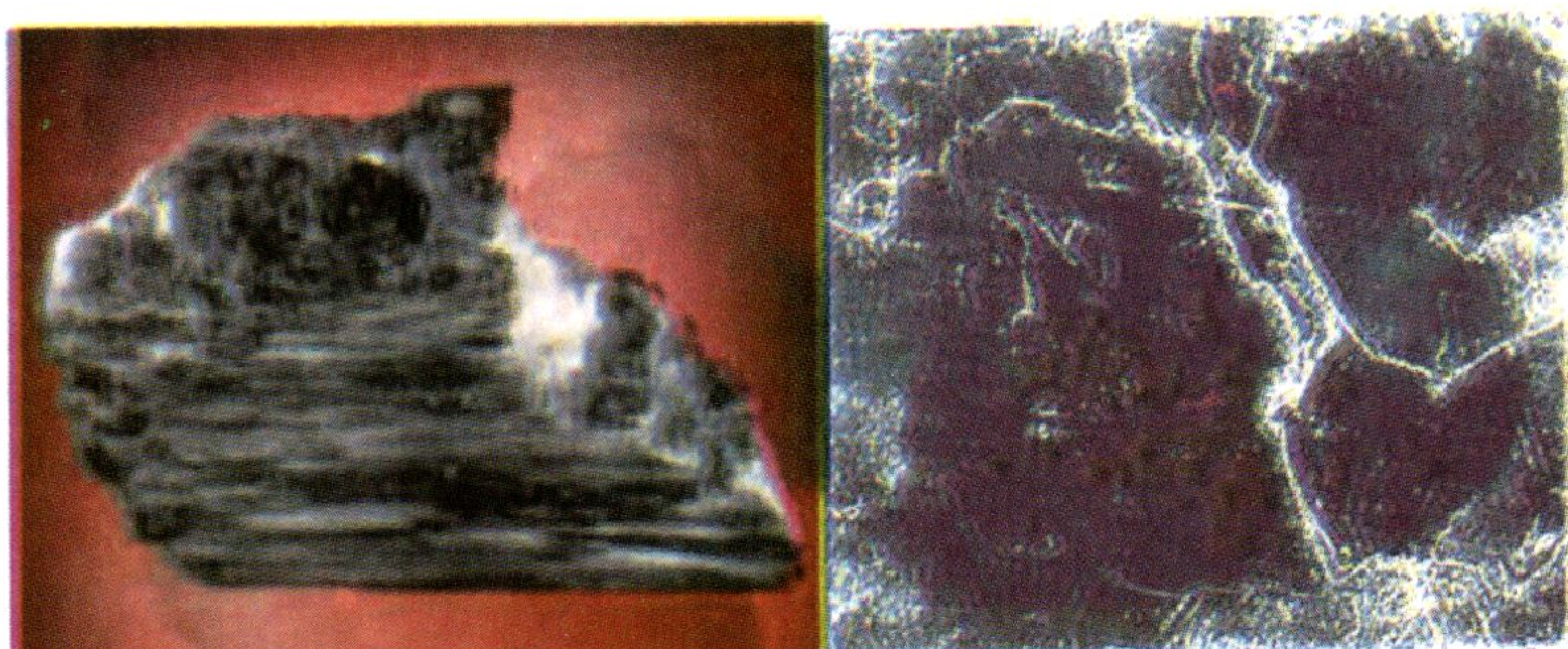
الأكسيد	١	٢٣	٣
SiO_2	٣٦,٤٩	٣٦,٦١	٣٥,٧٣
Al_2O_3	١٢,٨٩	١٧,٨٤	١٤,٣٥
Fe_2O_3	٤,٢٦	١٨,٤	٢١,٢٥
FeO	٢٣,٤٨		
MnO	٠,٥٤	٠,٣	٠,٣
MgO	٨,٨٥	١٠,٩٨	١٢,٨٦
CaO	١,٩٤	–	–
K_2O	٥,٧١	٩,٧٥	١٠,١٤
Na_2O	٠,٩٥	–	٠,١٦
TiO_2	٣,٩٢	٢,٧١	٢,١
H_2O^+	١,٦٥	*	*
H_2O^-	–	*	*
F	–	*	*
الإجمالي	١٠٠,٦٨	٩٦,٦	٩٦,٩٥

* لم يتم قياسها.

١- بيوتيت – جرانيت خشن الحبيبات- أسوان (رجب وأخرون ١٩٧٨ Ragab et al.)

٢- بيوتيت من من صخور النيس بوادى جيثوا السعودية (الفيلالى وعبد النبى ٢٠٠٣)

٣- بيوتيت من صخور النيس بوادى حيمور- أبو سويل (عبد النبى وفريش ٢٠٠٢)



ب أ

شكل ٦-١٤: أ- رقائق من البيوتيت المدخن، ب- صفائح غير منتظمة من معدن البيوتيت (عينة من بانكروفت، ولاية اونتاريو، كندا)

التواجدات والصحبة المعدنية

يعتبر معدن البيوتيت من أكثر معادن الميكا إنتشاراً، حيث يدخل فى تكوين أنواع مختلفة من الصخور. يوجد البيوتيت في الصخور النارية المتنوعة والغنية بالفلسبارات والتي تتراوح من الجرانيت البيجماتيتي إلى الجرانيت إلى الديوريت إلى الجابرو والبريدوتيت. تصل مساحة بلورات البيوتيت أحياناً فى البيجماتيت كما فى جرينلاند وإسكاندينافيا إلى حوالى ٧م^{٢}. عادةً كلما زادت حامضية الصخر الحاوي على البيوتيت تزداد نسبة الحديد الثنائى وتقل نسبة الماغنسيوم فيه. يوجد البيوتيت أيضاً في الطفوح البركانية والصخور البورفيرية مثل الريولايت والداسيت والتراكيت والأنديزيت واللاتيت وبعض صخور البازلت، لكن بدرجة أقل انتشاراً من الصخور الجوفية، وغالبا ما يتعرض البيوتيت للتجوية ويتغاير إلى كلوريت. كذلك يتواجد المعدن عند تحول الصخور البليتية عند حوالي ٤٠٠ درجة مئوية على حساب كل من الكلوريت والفلسبار البوتاسي:



3 chlorite + 8 K-feldspar = 5 biotite + 3 muscovite + 9 quartz + 4 H_2O

كلوريت فلسبار بوتاسي بيوتيت مسكوفيت كوارتز

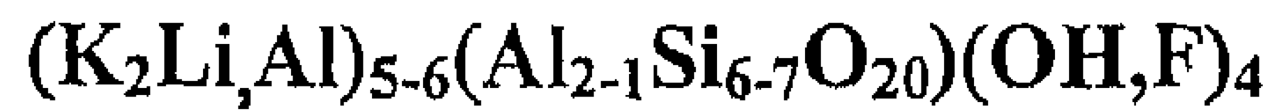
يصاحب البيوتيت معادن الأندلوسيت والكورديريت في درجة التحول المنخفض، وتقل نسبة البيوتيت مع التحول التماسي عالي الدرجة. يوجد المعدن أيضا في الصخور المتحولة إقليمياً والمتكونة في مدي واسع من الحرارة والضغط خاصة صخور الشيست والنيس في نطاقات البيوتيت

(البيوتيت-كلوريت، البيوتيت-مسكوفيت) والجارنت كما يتواجد في نطاقات الشتروليت والكيانيت والسيليمانيت.

الاستخدامات

استخدامات البيوتيت محدودة بسبب لونه الداكن ومحتـواه العـالي مـن الحديد. لكن عادة يستخدم كعازل للحرارة في الأغراض الصناعية المختلفة.

الليبيدوليت Lepidolite

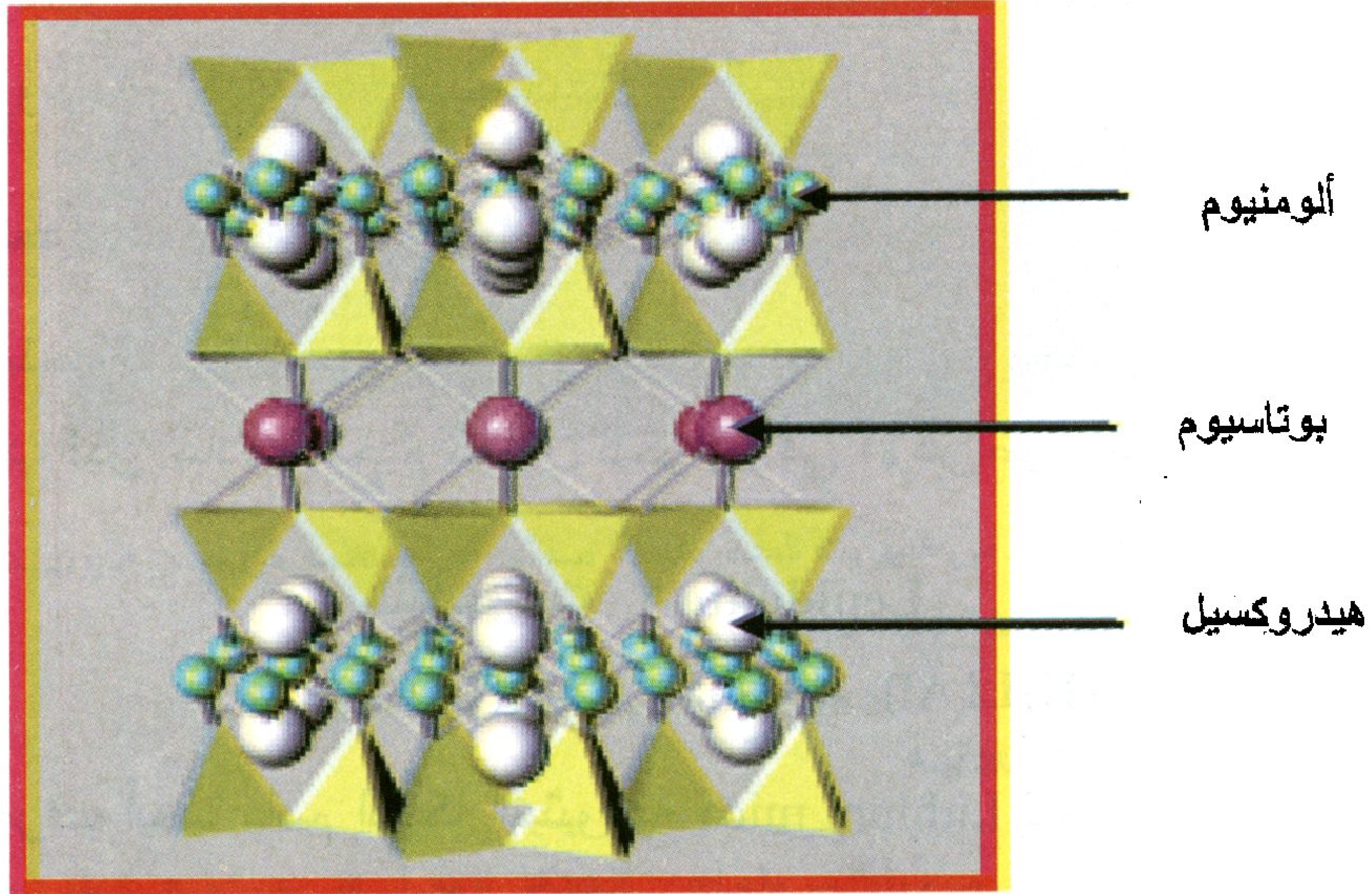


$$(K_2Li,Al)_{5-6}(Al_{2-1}Si_{6-7}O_{20})(OH,F)_4$$

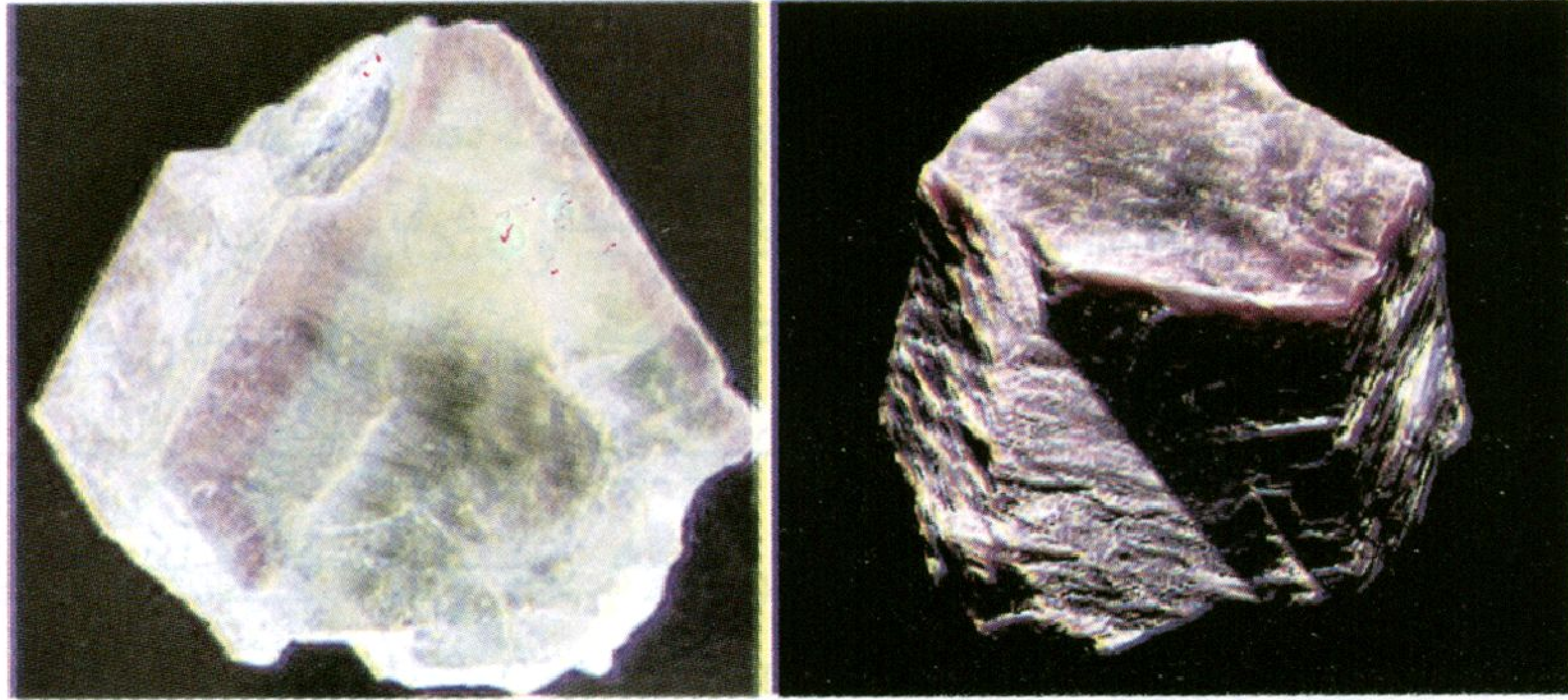
يعرف أيضاً باسم الميكا الليثيومية Lithium mica لإحتوائه علي عنـصر الليثيوم بنسبة تصل إلي ٦,٤٣% . وقد أشتق الاسم من اللغة اللاتينية والتي تعني قشور.

البنية البلورية

يتبلور المعدن أساساً في فصيلة الميل الواحد وهنـاك بعـض الأشـكال المتبلورة في فصيلة الثلاثي. مجموعة النقطة 2/m والمجموعـة الفراغيـة *C2/m*. وتبلغ أبعـاد خليـة الوحـدة أ= ٥,٢١ وب= ٨,٩٧ وج= ٢٠,١٦ أنجستروم وتبلغ النسبة بـين هـذه الأبعـاد أ:ب:ج= ٠,٥٨١: ١: ١,١٢٤ ومقدار زاوية بيتا (β) = ١٠٠,٨°. وعدد ماتمتلكه خلية الوحدة مـن ذرات (Z) =٢. البناء البلورى هو نفس البناء البلورى للمـسكوفيت وهـو ممثـل بالبناء ٢ :١ (T-O-T) ويمثل البوتاسيوم الكاتيونات البينية مع استبدال بسيط للألومنيوم بالليثيوم في مواقع ثمانيات الأوجه (شكل ٦-١٥). يمتاز المعدن بالانعكاسات القوية للأشعة السينية عند مـسافات ١٠,٠ و ٥,٠٠ و ٤,٥٠ و٢,٥٨ و ١,٩٨٩ أنجستروم. تأخذ البلورات عادة هيئة صفائح صـغيرة أو منشورات سداسية المظهر (شكل ٦-١٦). ويوجد المعدن غالباً فـي هيئـة قشرية دقيقة أو خشنة التبلور.



شكل ٦-١٥: البناء البلورى لليبيدوليت



أ- بلورة منشورية سداسية الشكل ذات لون بنفسجى

ب- كتلة صفائحية ذات لون وردى وأصفر وأبيض

شكل ٦-١٦: نماذج من بلورات معدن الليبيدوليت

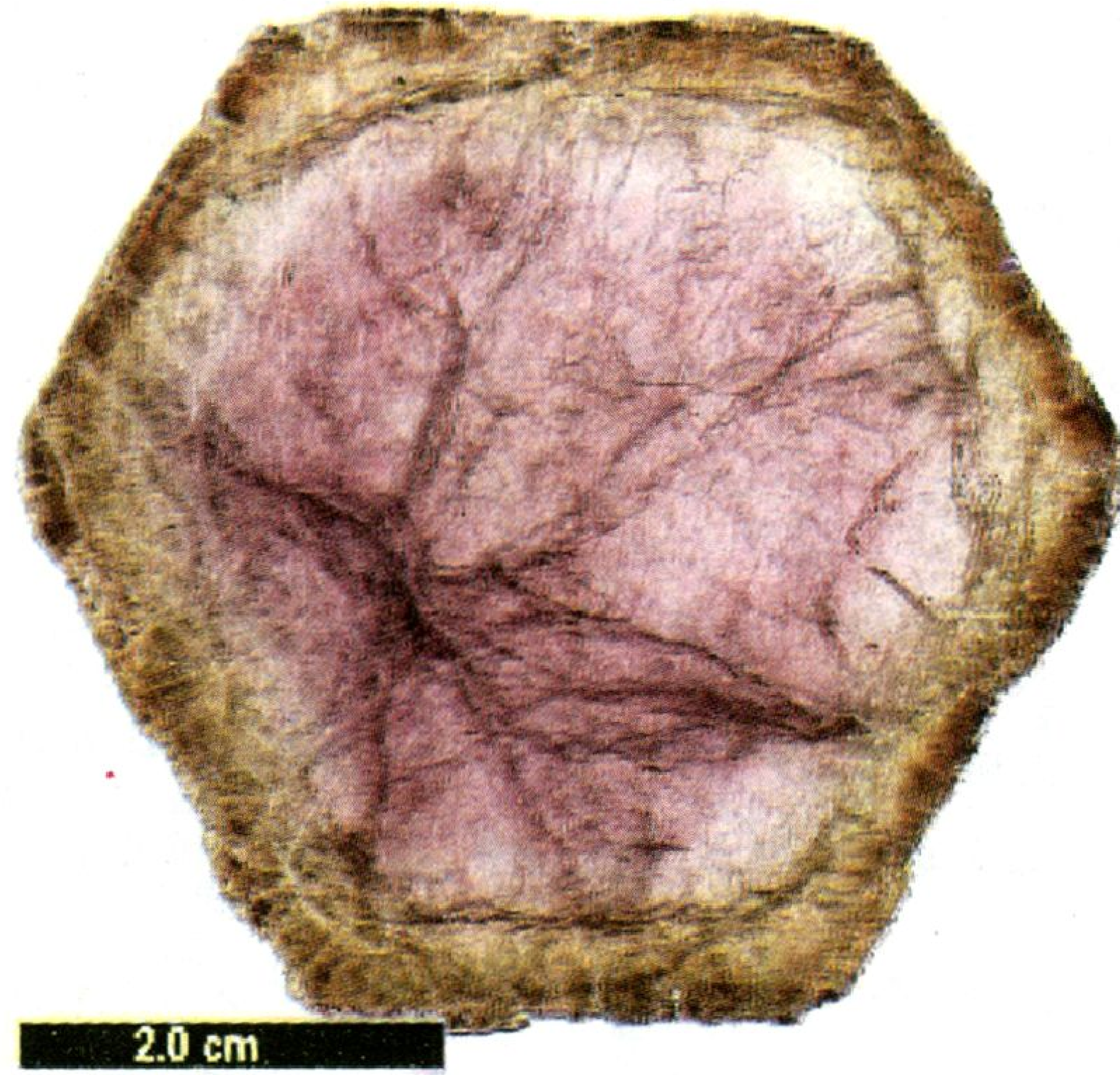
كيميائية المعدن

الليبيدوليت معدن من معادن الميكا التى تتميز بوجود عنصر الليثيوم. بالإضافة إلى العناصر الأساسية المكونة للمعدن كما هو واضح في صيغته الكيميائية $[(K_2Li,Al)_{5-6}(Al_{2-1}Si_{6-7}O_{20})(OH,F)_4]$، فقد يحل كل من الصوديوم والروبيديوم والسيزيوم محل البوتاسيوم. وقد يحل الحديد والماغنسيوم والمنجنيز محل الألومنيوم والليثيوم في مواقع ثمانيات الأوجه.

يعد الليبيدوليت أحد المعادن القليلة التى تحتوى على عنصر الروبيديوم بقدر مناسب لذلك يستخدم المعدن بعد فصله فى قياس أعمار الصخور بطريقة الروبيديوم-إسترنشيوم (دير وأخرون ١٩٨٥). يوضح جدول (٦-٧) التحليل الكيميائي لمعدن الليبيدوليت. يكّون المعدن سلسلة محاليل صلبة مع المسكوفيت حيث يمثل المسكوفيت الطرف الفقير بالليثيوم ويحتفظ المسكوفيت بتركيبه طالما أن محتوى أكسيد الليثيوم لا يتعدى ٣,٣% ويسمى حينئذ بالمسكوفيت الليثيومى. وقد يتحول الليبيدوليت إلى مسكوفيت عند حوافه نتيجة فقده لليثيوم وينتج بذلك شكل نطاقى (شكل ٦-١٧). وإذا دخل الحديد بكمية كافية في المواقع ثمانيات الأوجه فأنه يكون معدن زينفالديت Zinnwaldit الذي يعتبر ليبيدوليت حديدى أو بيوتيت ليثيومى.

جدول ٦-٧: نماذج من التحاليل الكيميائية لمعدن الليبيدوليت

الأكسيد	١	٢	
SiO_2	٥٠,٢٨	٤٩,٨٠	١- الليبيدوليت من صخور البيجماتيت من منجم بالا-سانديجو- كاليفورنيا (شانج ٢٠٠٢)
Al_2O_3	٢٢,٨١	٢٥,٥٦	
K_2O	١٧,٤٨	٩,٦٧	
Li_2O	٤,٩٢	٥,٩٥	٢- الليبيدوليت من صخور البيجماتيت، السويد (بيرجرن ١٩٤١)
Rb_2O	٠,٩٧	١,٩٧	
MnO	٠,٤١	٠,٣٨	
MgO	٠,١٦	٠,٢٢	
CaO	٠,١٨	٠,٠٠	
Cs_2O	٠,٣٠	١,٢٠	
H_2O	٢,١٠	٠,٨٨	
F	١,٢٠	٣,٩٦	
المجموع	١٠٠,٧١	١٠٠,٠٧	

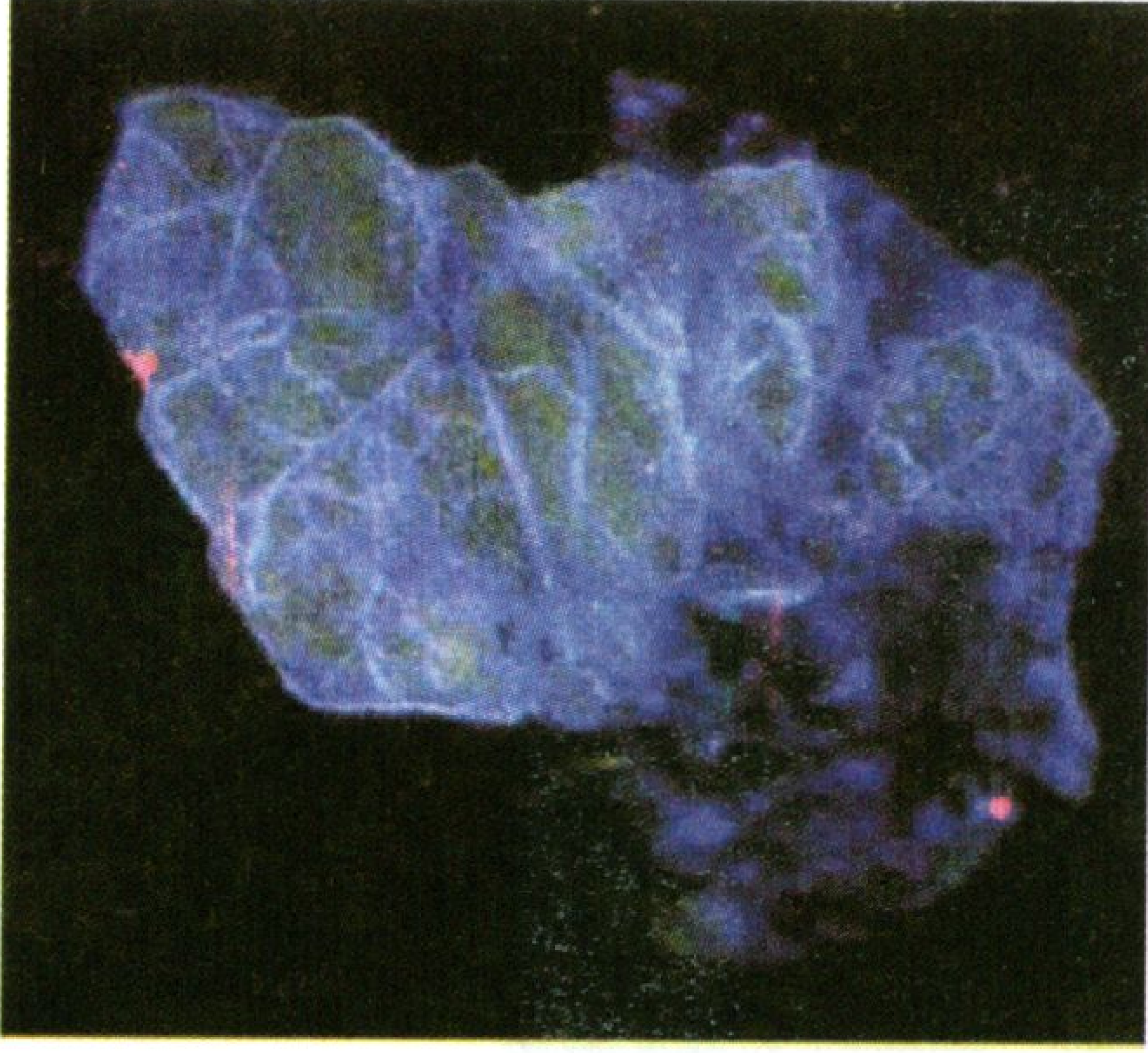


شكل ٦-١٧: بلورة ليبيدوليت سداسية الشكل وزئبقية اللون توضح النطاقية بوجود المسكوفيت عند الحافة

الصفات الفيزيائية والبصرية

اللون أحمر وردى فاتح وزئبقي Lilac وبنفسجي ورمـادي وأصـفر أو أبيض (أشكال ٦-١٦ إلى ٦-١٩) والبريق لؤلؤي. المعدن نـصف شـفاف وعديم اللون في القطاعات الرقيقة. الصلادة = ٢,٥-٤ والإنفصام قاعـدي كامل موازى للمستوى {001} والمكسر غير مـستوى والـوزن النـوعي =٢,٨-٢,٩. تعتمد الخصائص البصرية للمعدن علي نسبة الحديد الثلاثـى والمنجنيز أكثر من إعتمادها على نسبة الليثيوم. المعدن ثنائى المحور سالب وتبلغ معاملات انكساره مدى واسع اعتماداً على نسبة الحديد والمنجنيز في المعدن فإرتفاع نسبة العنصرين في المعدن تزيد من معـاملات الانكـسار وتقلل من الزاوية البصرية ولكن معظم الليبيدوليت يقع في المدى الأتى: ألفا (α) = ١,٥٢٩ -١,٥٣٧ وبيتـا (β) = ١,٥٥٢ -١,٥٦٥ وجامـا (γ) = ١,٥٥٥ -١,٥٦٨. قرينة الانكسار المزدوج (δ)= ٠,٠٢٩-٠,٠٣٨ والزاوية البصرية ($2V$) =٢٥-٦٠°.

التواجدات والصحبة المعدنية



شكل ٦-١٨: معدن الليبيدوليت يحتوى على عروق من الثوريت

معدن الليبيدوليت من المعادن النادرة نسبياً. يوجد في صخور الجرانيت البيجماتيتى حيث يصاحب معادن أخرى تحتوى على الليثيوم (الزينفالديت، والامبليجونيت Amblygonite والسبوديومين Spodumene) والتورمالين الوردى أو الأخضر والتوباز والكاسيتريت والبيريل والكوارتز والألبيت. وقد وجد الليبيدوليت أيضا في صخور الجرانيت والأبليت Aplites وعروق المحاليل الحرمائية مرتفعة الحرارة. يوضح شكل (٦-١٨) عروق من معدن الثوريت المشع داخل معدن الليبيدوليت. يتكون الليبيدوليت في البيجماتيت نتيجة عمليات التحوال للبيوتيت والمسكوفيت. قد توجد بلورات الليبيدوليت متداخلة مع المسكوفيت حيث تتوازى البلورات مع بعضها البعض. من المناطق الشهيرة بوجود المعدن جبال الأورال وجزيرة علبا بإيطاليا ومدغشقر. ويستخرج المعدن أيضاً بكميات إقتصادية مع معادن أخرى لليثيوم من صخور البيجماتيت كما هو الحال فى بيجماتيت بيكيتا Bikita pegmatites في زيمبابوي وفى بيجماتيت تانكو Tanco pegmatites بكندا (شانج ٢٠٠٢) وبيجماتيت أيتنجا فى البرازيل (شكل ٦-١٩).

الاستخدامات

يستعمل المعدن كمصدر لفلز الليثيوم وكمصدر لأكسيد الليثيوم Li_2O . يمتاز فلز الليثيوم بالوزن المكافئ المنخفض والجهد الإليكترونى العالي لذلك يستخدم في صناعة بطاريات الليثيوم ذات الطاقة العالية (فينكاتاسيتى Venkatasetty ١٩٨٤). يستخدم الليثيوم في أربع تطبيقات صناعية أساسية وهي الزجاج وسيراميك الزجاج وطبقات التلميع والإنامل

Glazes and Enamels. بالإضافة إلي إنتاج مركبات الليثيوم المختلفة (الكربونات والهيدروكسيد والكلوريد والفلوريد والبروميد) ولكل منها إستعمال خاص فى الصناعة (كويناسز ١٩٩٤ Kunasz).



شكل ٦-١٩: ليبيدوليت في هيئة غير عادية وهى البطروخية أو العنقودية، تحتوى العينة على بعض الألبيت الأبيض. من صخور البيجماتيت، أيتنجا- البرازيل.
http//www.mineralminers.com

الفلوجوبيت Phlogopite



$KMg_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2$

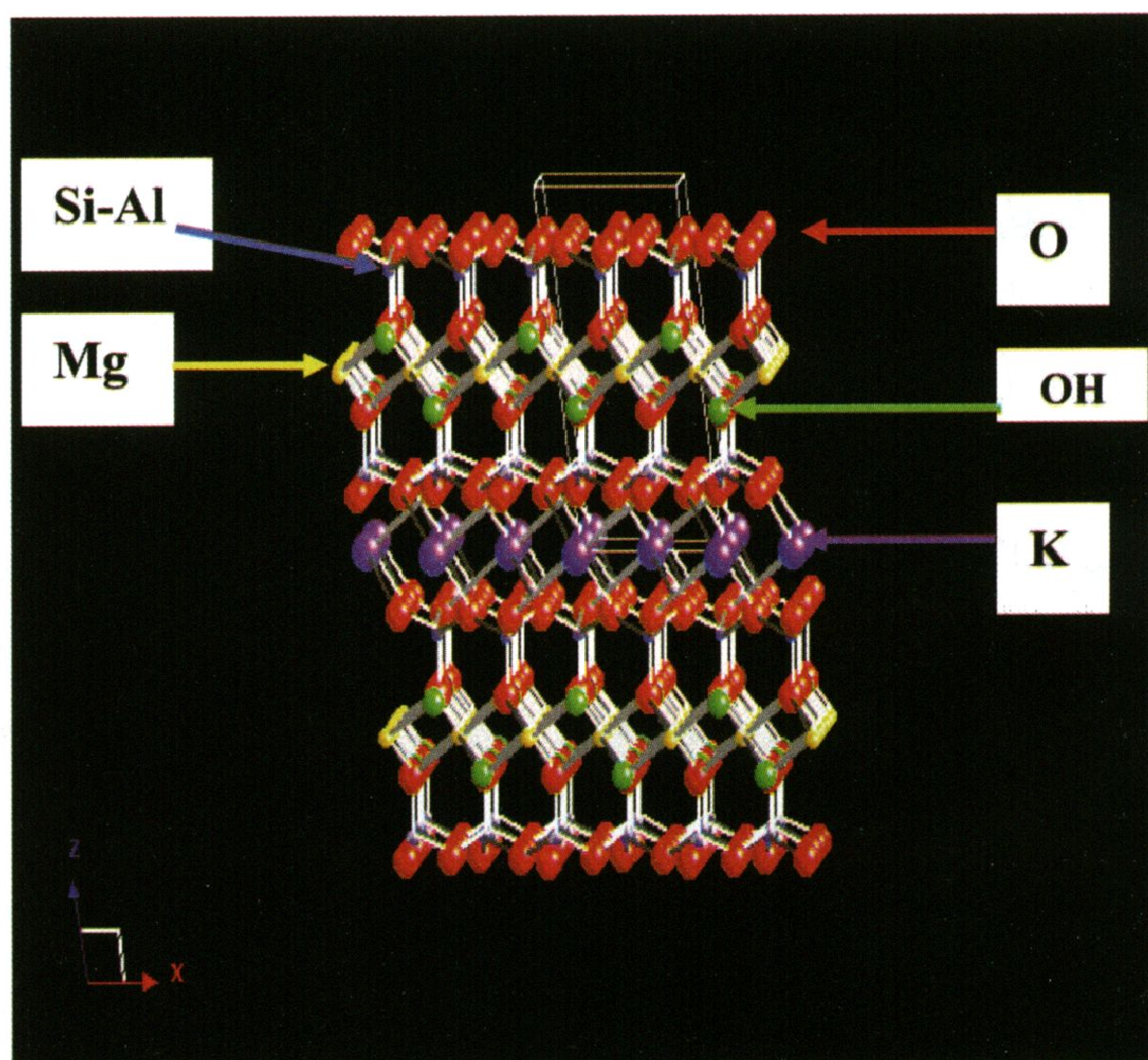
يعرف معدن الفلوجوبيت أيضا باسم الميكا الماغنيسيومية Magnesian mica أو ميكا العمبر Amber mica. ويرجع اسم الفلوجوبيت إلي الكلمة الإغريقية *Phlogo* والتي تعني الشبيه بالنار نسبة إلي لونه.

البنية البلورية

يتبلور المعدن في فصيلة الميل الواحد. مجموعة النقطة 2/m والمجموعة الفراغية *C*2/m. تبلغ أبعاد خلية الوحدة أ= ٥,٣٣، ب= ٩,٢٣، ج= ١٠,٢٦ أنجستروم. ونسب هذه الأبعاد لبعضها تساوى أ:ب:ج= ٠,٥٧٧: ١:

١,١١٢. ويبلغ مقدار زاوية (β)=١٠٠,٢°. عدد الذرات التى تمتلكه خلية الوحدة (Z)= ٢. غالباً ماتوجد بلورات الفلوجوبيت علـى هيئة لوحيه أو سداسية الشكل أو منشورية مدببة. البلورات غالبا كبيرة وخشنة ويوجد المعدن أيضاً في هيئة كتل صفائحية.

ينتمي الفلوجوبيت إلي مجموعة المعادن ثلاثى الثماني حيث تكتمل مواقع ثمانيات الأوجه بأيونات الماغنسيوم، وتكون أيونات البوتاسيوم طبقة الكاتيونات البينية (شكل ٦-٢٠). والبناء البلورى للمعدن مشابه للبناء البلورى للمسكوفيت.



شكل ٦-٢٠: البناء البلورى لمعدن الفلوجوبيت

كيميائية المعدن

يتكون معدن الفلوجوبيت من سيليكات البوتاسيوم والماغنسيوم والألومنيوم والهيدروكسيل $[KMg_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2]$ وغالباً مايحل الحديد محل الماغنسيوم. يطلق اسم الفلوجوبيت إذا كانت نسبة الماغنسيوم \ الحديد > ٢

ويسمى المعدن البيوتيت إذا كانت نسبة الماغنسيوم \ الحديد < ٢، وهناك سلسلة محاليل صلبة كاملة بين كلا المعدنين. يدخل الصوديوم في البناء البلورى للفلوجوبيت بقدر أكبر من دخوله في بنية المسكوفيت. كما يوجد أيضاً فى الفلوجوبيت كميات ضئيلة من الباريوم والسيزيوم والروبيديوم والمنجنيز والكروميوم والفلورين. يوضح جدول (٦-٨) نماذج من التحاليل الكيميائية لمعدن الفلوجوبيت.

جدول ٦-٨: نماذج من التحاليل الكيميائية لمعدن الفلوجوبيت.

الأكسيد	١	٢	٣	٤
SiO_2	٤٣,٣٦	٤٠,٩٥	٣٧,١٦	٣٨,٩٢
Al_2O_3	١١,٢٥	١٧,٢٨	١٦,١٣	١٦,٤٦
K_2O	٩,٧٩	٩,٨٠	٧,٥٣	٥,٧٠
Na_2O	٠,١٦	٠,١٦	٢,٢١	٣,٣٦
Fe_2O_3	—	٠,٤٣	—	—
FeO	٦,٩٢	٢,٣٨	١٠,١١	٩,٠٤
MgO	٢٣,٠٠	٢٢,٩٥	١٩,٦٨	٢١,٥٥
CaO	–	–	٠,٠٣	٠,٠٣
TiO_2	٠,٢٤	٠,٨٢	٢,٥٦	١,٠٥
BaO	–	–	٠,٤٧	٠,٢٥
Cr_2O_3	٠,٤	–	٠,٠٨	٠,٣٣
MnO	٠,٠٥	–	٠,٠٢	٠,٠٨
F	–	٠,٣٦	٠,١٨	٠,٠٦
Cl	–	–	٠,٠٢	٠,٠٥
H_2O^+	–	٤,٢٣	–	–
H_2O^-	–	٠,٤٨	–	–
المجموع	٩٥,١٧	٩٩,٨٤	٩٦,١٠	٩٦,٨٣

١- فلوجوبيت كمكتنفات فى الزمرد- وادى سيكيت- الصحراء الشرقية- مصر (عبدالله ومحمد ١٩٩٩)

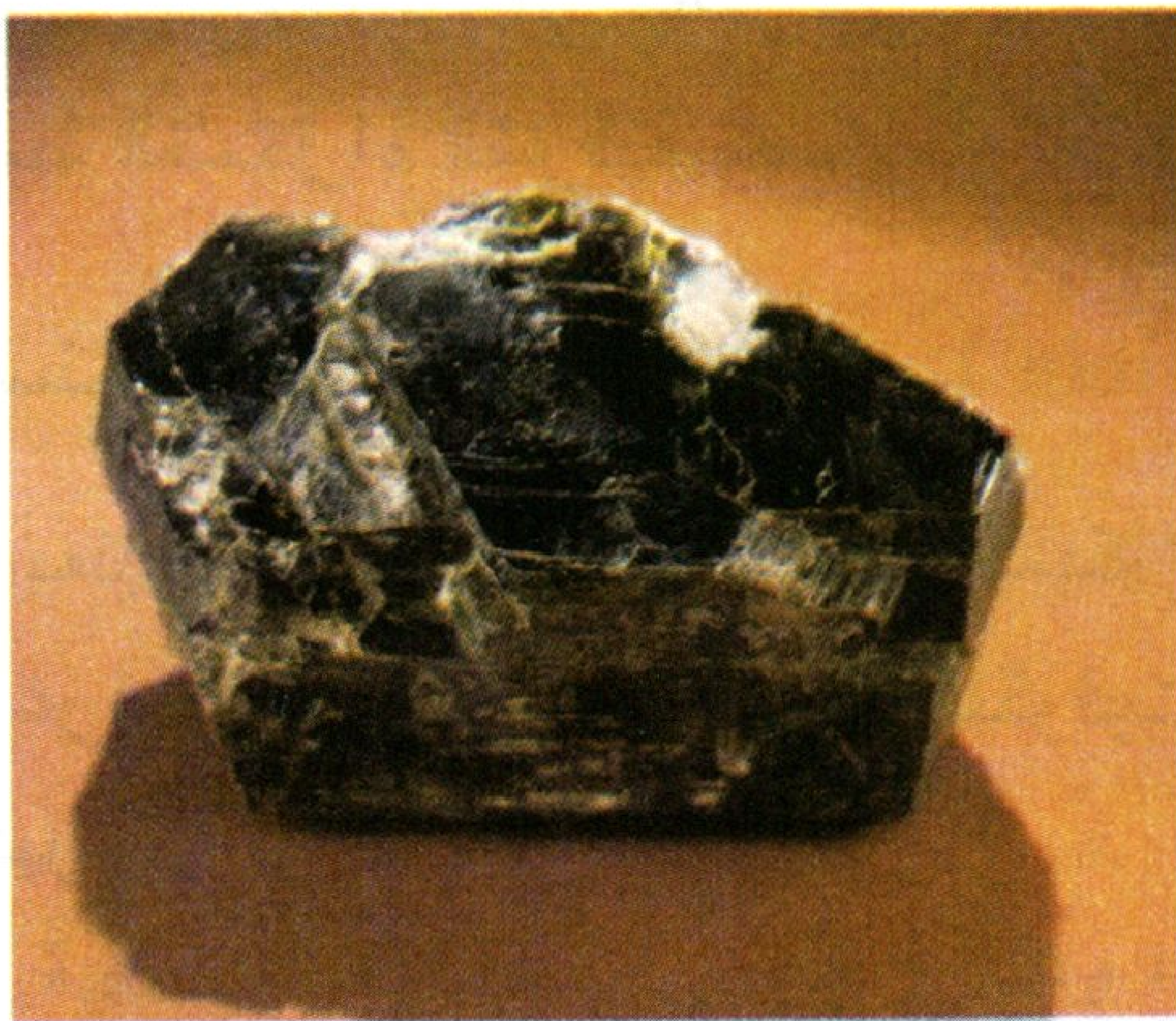
٢- فلوجوبيت فى صخور الرخام بنيوزلندا (هيوتون ١٩٤٧ Hutton).

٣،٤- فلوجوبيت غنى بالصوديوم فى صخور الجابرو- وسط شيلى (رودريجيز ٢٠٠٠ Rodriguez)

الصفات الفيزيائية والبصرية

اللون أصفر بنى أو أخضر أو أبيض (شكل ٦-٢١). البريق زجاجي أو لؤلؤى وغالبا ذو وميض نحاسي اللون على أسطح الانفصام. المعدن شفاف وعديم اللون في القطاعات الرقيقة. المخدش أصفر أو بنى. الصلادة = ٢,٥ – ٣ والإنفصام قاعدي موازى للمستوى {001} والصفائح مرنة والوزن النوعي = ٢,٨٦ . تبلغ معاملات الانكسار ألفا (α) = ١,٥٣- ١,٥٩ وبيتا (β) = ١,٥٦ - ١,٦٤ وجاما (γ) = ١,٥٦- ١,٦٤. قرينة الانكسار المزدوج (δ)= ٠,٠٢٨-٠,٠٤٩ والزاوية البصرية ($2V$)= ٠-١٥°. يمتاز المعدن بالإنعكاسات القوية للأشعة السينية عند المسافات ١٠,١٣ و ٤,٥٠ و٣,٥٣ و٣,٣٦ و ٢,٦٢ أنجستروم.

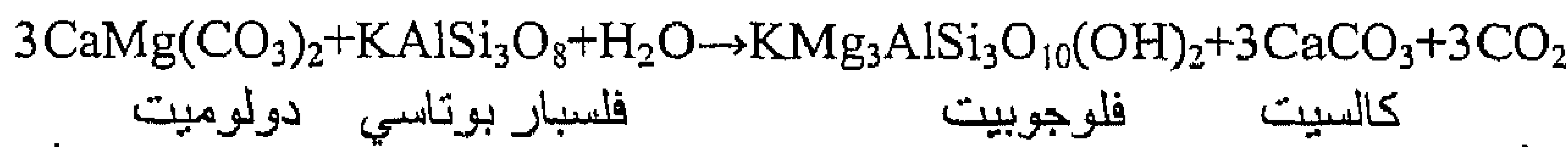
يمكن تمييز المعدن عن المسكوفيت بامتلاك الأخير زاوية بصرية أكبر. ويتميز عن البيوتيت الغنى بالحديد بمعاملات انكسار أصغر. يشبه الفلوجوبيت إلي حد كبير الليبيدوليت في المظهر والخصائص البصرية، وأفضل وسيلة لتمييزه هو إختبار الليثيوم باستعمال اللهب، بالإضافة إلي تحليل حيود الأشعة السينية X-Ray Diffraction.

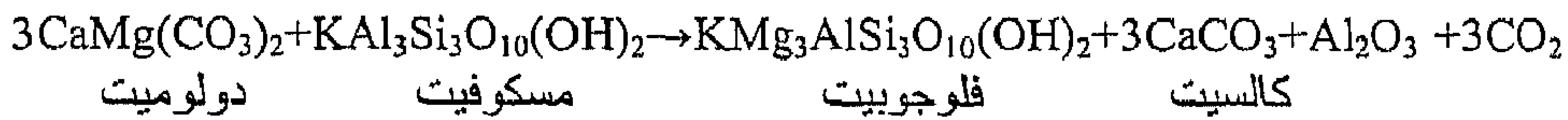



شكل ٦-٢١: بلورات منشوريه مدببة بنية وخضراء اللون لمعدن الفلوجوبيت (رودلف ٢٠٠٤ Rudolph).

التواجدات والصحبة المعدنية

يتكون معدن الفلوجوبيت في الصخور الغنية بالماغنسيوم مثل الصخور الجيرية الماغنيسية والدولوميت وذلك نتيجة تحولها بالحرارة. وكذلك يتكون في الصخور فوق المافية والسربنتينيت. ويعتقد أن الفلوجوبيت يتكون نتيجة التفاعل بين الدولوميت والفلسبار البوتاسى أو المسكوفيت المتكون سابقا أثناء عمليات التحول كما في التفاعلات الآتية:


$$3CaMg(CO_3)_2+KAlSi_3O_8+H_2O \rightarrow KMg_3AlSi_3O_{10}(OH)_2+3CaCO_3+3CO_2$$


$$3CaMg(CO_3)_2+KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2 \rightarrow KMg_3AlSi_3O_{10}(OH)_2+3CaCO_3+Al_2O_3+3CO_2$$

يصاحب المعدن غالبا صخور الكمبرليت ويكّون من ٦ إلـــي ٨ % مـــن تركيبها المعدني. لكن يندر بشكل عام وجود المعدن في الصخور الناريـــة. وجد رودريجيز (٢٠٠٠) Rodriguez الفلوجوبيت الغنى بالـصوديوم فـــي صخور الجابرو الغنية بالفلسباثويد مع كل مـــن البيروكـسين والأوليفـــين والأليبيت والسانيدين (جدول ٦–٨). من البلدان التي يوجـد فيهـا المعـدن بكميات كبيرة فنلندا وسويسرا والسويد وسيريلانكا وأونتاريو وكويبك بكندا. يوجد الفلوجوبيت فى مصر فى عدة مناطق من أهمها منطقة حفافيـت فـــى وسط الصحراء الشرقية مصاحباً للبيجماتيت.

الاستخدامات

يعتبر الفلوجوبيت من معادن الميكا الصناعية الهامة فهو يستخدم في نفس الأغراض التي يستعمل فيها المسكوفيت ويستعمل أساساً في صناعة العوازل الكهربائية.

مجموعة الكلوريت Chlorite Group

تضم هذه المجموعة عدة معادن ذات خواص بلورية وفيزيائية وكيميائية متشابهة. ومن الصعب جداً التمييز بين هذه المعادن دون الإلتجاء إلى التحاليل الكيميائية الدقيقة والدراسات البصرية. والوصف التالي لما نسميه معدن "كلوريت" ما هو في الواقع إلا وصفاً شاملاً للأنواع الأساسية التابعة لهذه المجموعة وهى : كلينوكلور، بينيت، بروكلوريت. يرجع اسم كلوريت إلى كلمة لاتينية تعني الأخضر نسبة إلي اللون المعروف عن تلك المعادن.

تشمل هذه المجموعة معادن ذات بناء بلورى صفائحى ٢:١ (T-O-T) والتي تمتاز بعدم التمدد Non-expanding. تختلف هذه المجموعة عن المعادن الأخرى التي لها نفس البناء فى كونها تحتوى على طبقات مستقرة من ثمانيات الأوجه الموجبة أكثر من عدد الكاتيونات في المسافات البينية. تحتوي طبقة ثمانيات الأوجه على طبقتين من أيونات الهيدروكسيل $(OH)^-$ التي تحوي أي من الماغنسيوم أو الحديد الثنائى أو الألومنيوم كمركز لثمانيات الأوجه مما يؤدى إلي تكوين شحنة موجبة تعادل الشحنة السالبة للطبقات. لا تملئ الكاتيونات في ثمانيات الأوجه تماما المسافات البينية بين الصفائح ولا تعادل الشحنة السالبة للصفائح. هذه الشحنة المتبقية يمكن تعادلها بكاتيونات مختلفة تمتص من السوائل المحيطة علي أسطح الحبيبات (جرونوالد Grunwald ٢٠٠٢).

الكلوريت Chlorite



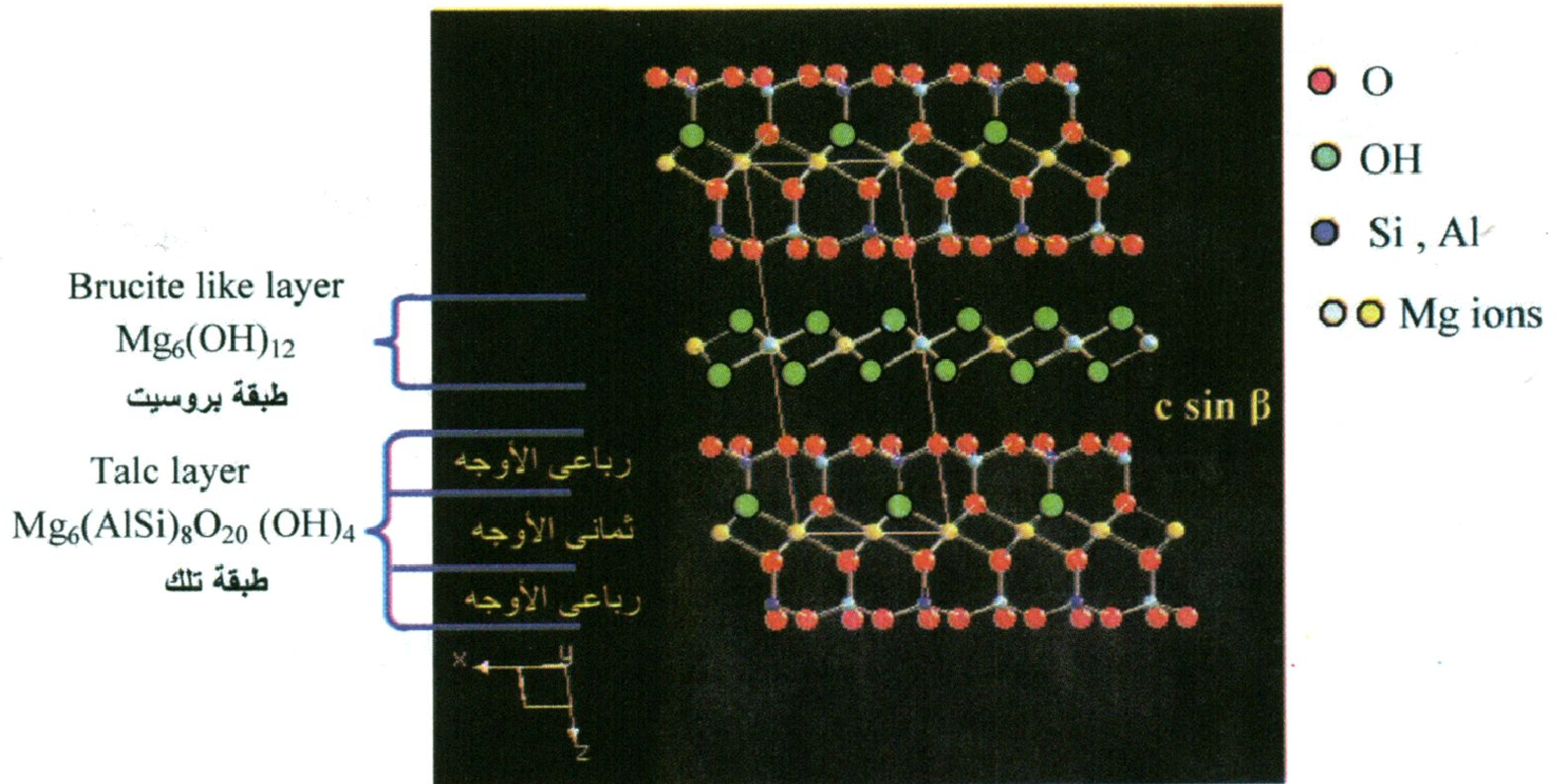
$(Mg,Fe^{2+},Fe^{3+},Al)_6(Al,Si)_4O_{10}(OH)_2,(MgOH)_8$

البنية البلورية

يتبلور المعدن في فصيلة الميل الواحد، وتتبلور بعض التعددات الشكلية في الميول الثلاثة. مجموعة النقطة 2/m والمجموعة الفراغية *C*2/m. تبلغ أبعاد خلية الوحدة أ= ٥,٣، ب= ٩,٢، ج= ١٤,٣ أنجستروم، وتبلغ زاوية (β) = ٩٠,٨٣°. تمتلك خلية الوحدة عدد ٢ ذرات (Z)=٢. يشبه

المعدن في هيئته بلورات مجموعة معادن الميكا ولكن يندر وجود بلورات واضحة. يوجد المعدن عادة في هيئة كتل صفائحية أو مجموعات مكونة من قشور دقيقة. يوجد كذلك في هيئة حبيبات صغيرة منتشرة في الصخر.

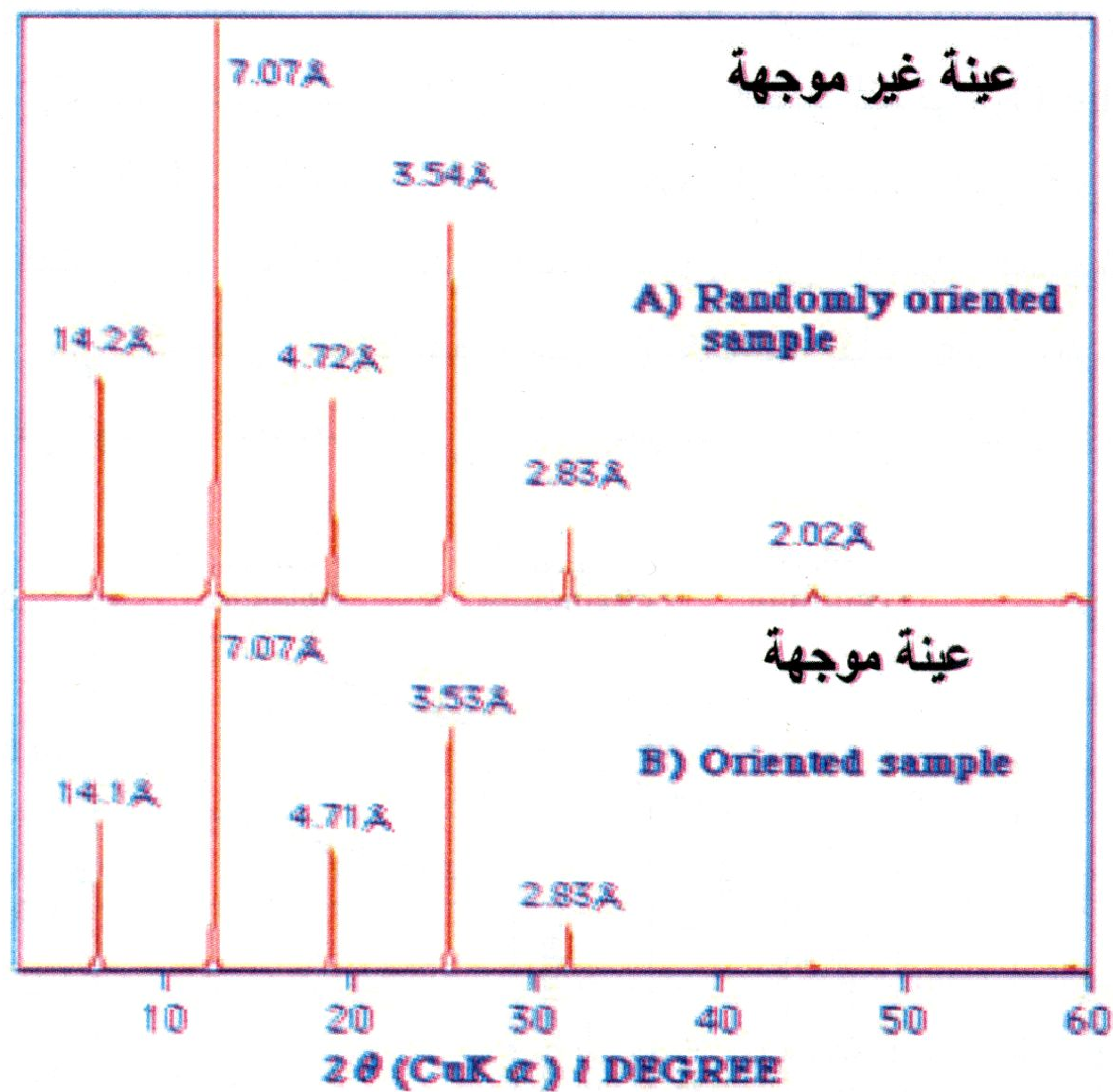
يتكون البناء البلورى للكلوريت من صفائح متبادلة إحداها مماثلة للتلك $(Mg_6Si_8O_{20}(OH)_4)$ والأخرى مماثلة للبروسيت $Mg_6(OH)_{12}$ (شكل ٦-٢٢). إرتفاع خلية الوحدة يساوى ج جا بيتا $(c \sin \beta)$ هو نفسه سمك صفيحة كلوريت واحدة (١٤ أنجستروم). قد يحدث إحلالات مابين الماغنسيوم والألومنيوم والحديد في أى من طبقة التلك أو طبقة البروسيت أو فى كليهما. وقد تمتلئ مواقع معينة في تلك الطبقات بنوع واحد من الذرات. تختلف أبعاد خلية الوحدة لمعادن الكلوريت باختلاف التركيب الكيميائي، فمثلا إحلال الألومنيوم محل السيليكون وإحلال الألومنيوم محل الماغنسيوم والحديد يقلل من المسافة القاعدية (d_{001}). ولا يتأثر البعد "ب" فى خلية الوحدة بهذا الإحلال، لكن يزداد كل من البعدين "أ" و"ب" بإحلال المنجنيز والحديد محل



شكل ٦-٢٢: البنية البلورية للكلوريت

الماغنسيوم. لذلك يستخدم تحليل حيود الأشعة السينية كدليل للتركيب الكيميائي فى الكلوريت. يوضح شكل (٦-٢٣) نموذج حيود الأشعة السينية للمعدن، حيث توجد نتوءات قوية عند المسافات (d-spacing) حوالي ١٤، ٧، ٤,٧، ٣,٥، ٢,٨٢ أنجستروم.

يستخدم حيود الأشعة السينية للتفرقة مابين بعض معادن السيليكات الصفائحية مثل سيبتيكلوريت Septechlorites والكلوريت وهما متشابهان كيميائيا، فلهذه المعادن إنعكاسات قاعدية قوية عند حوالي ٧ أنجستروم ولا تعطي نتؤات عند ١٤ أنجستروم كالكلوريت وهى بذلك تشبه السربنتين بنائياً. تسمى أحياناً هذه المعادن بالشاموسيت Chamosite (بريندلي ١٩٥١ Brindley).



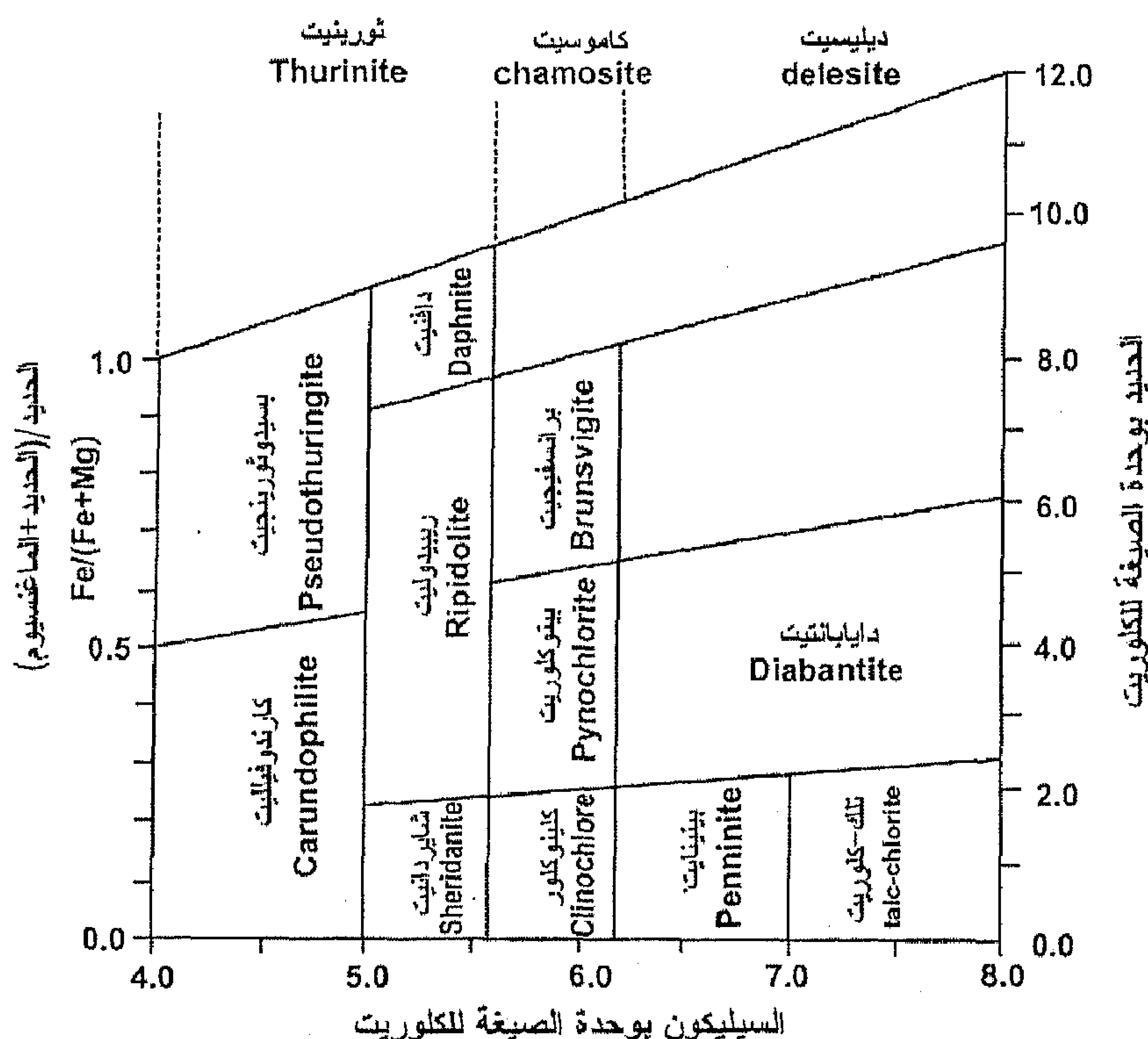
شكل ٦-٢٣: نموذج حيود الأشعة السينية للكلوريت

كيميائية المعدن

يشمل الكلوريت على عدد من طبقات التلك $Mg_6Si_8O_{20}(OH)_4$ وعدد مساوى من طبقات البروسيت $(Mg_6OH)_{12}$ (إنظر شكل ٦-٢٢): ويحدث في الكلوريت إحلال في كل من الطبقتين بدرجة كبيرة، فالألومنيوم يحل محل السيليكون في المدى $Si_7[Al]^4$ to $Si_4[Al_4]^4$. كما يستبدل الماغنسيوم في كل

من طبقتى التلك والبروسيت بالألومنيوم في المدى $Mg_{11}[Al]^6$ to $Mg_8[Al_4]^6$. هذه الإحلالات محدودة إذا ماقورنت بإحلال الحديد محل الماغنسيوم فقد تصل نسبة الحديد الثنائى إلى مجموع الحديد الثنائى والماغنسيوم إلى قيم تتراوح مابين الصفر والواحد.

كيميائياً، هناك نوعين أساسيين للكلوريت، كلوريت غير مؤكسد وكلوريت مؤكسد. معادن الكلوريت المؤكسدة هي المعادن التي تعرضت للأكسدة وتحول فيها الحديد الثنائى إلي حديد ثلاثى مع خروج الهيدروجين. لذلك تحتوى تلك المعادن على نسبة كبيرة من أكسيد الحديدالثلاثي Fe_2O_3 ونسبة قليلة من الماء H_2O^+. أما معادن الكلوريت غير المؤكسدة وهى أكثر معادن الكلوريت انتشاراً لا تحتوى على نسبة كبيرة من أكسيد الحديدالثلاثي. يصنف كل من المعادن المؤكسدة وغير المؤكسدة بناء على عدد ذرات السيليكون في وحدة الصيغة إلى عدة مجموعات. يوضح شكل (٦-٢٤)



شكل ٦-٢٤: تصنيف معادن الكلوريت (هاى ١٩٥٤ Hey)

تقسيمات معادن الكلوريت عن هاى (١٩٥٤) Hey. ويوضح جدول (٦-٩) التحليل الكيميائي لأنواع مختلفة من معادن الكلوريت.

جدول ٦-٩: التحليل الكيميائي لأنواع مختلفة من الكلوريت.

الأكسيد	١	٢	٣	٤	٥
SiO_2	٢٧,٧٢	٢٥,٦٢	٣٠,٨٥	٢٦,٤٠	٣١,٦٤
TiO_2	٠,٠٠	٠,٨٨	٠,٠٠	ــــ	٠,٠٠
Al_2O_3	٢٢,٦٥	٢١,١٩	٢٠,٦٢	١٨,٢٣	٢١,٦١
Fe_2O_3	ــــ	٣,٨٨	ــــ	٥,٧٠	-
FeO	١٤,٢٦	٢١,٥٥	٣,٩٨	٢٥,٨٧	٠,٧٧
MnO	٠,٠٥	٠,٣٥	٠,٠٠	٠,٠٤	٠,٠٠
MgO	٢٣,٥٤	١٥,٢٨	٣١,١٩	١١,٣٥	٣٣,٤
CaO	٠,٠٤	٠,١٦	٠,٠٠	٠,٤٢	٠,٠٠
K_2O	٠,٠٢	٠,٠٠	ــــ	٠,١٧	٠,٠٠
Na_2O	٠,١٨	٠,٠٠	ــــ	٠,١٧	٠,٠٠
H_2O^+	١٢,١٥	١٠,٨٧	لم تقاس	١٠٦٠	لم تقاس
H_2O^-	ــــ	٠,١٩	لم تقاس	١,٠٥	لم تقاس
الإجمالي	١٠٠,٦٠	٩٩,٩٧	٨٦,٦٤	١٠٠,٠٠	٨٧,٤٢

١- كارندوفيليت (Carundophilite) من صخر كلوريت- أكتينوليت شيست – منطقة خميس مشيت- جنوب غرب المملكة العربية السعودية (الفيلالي ٢٠٠٤).

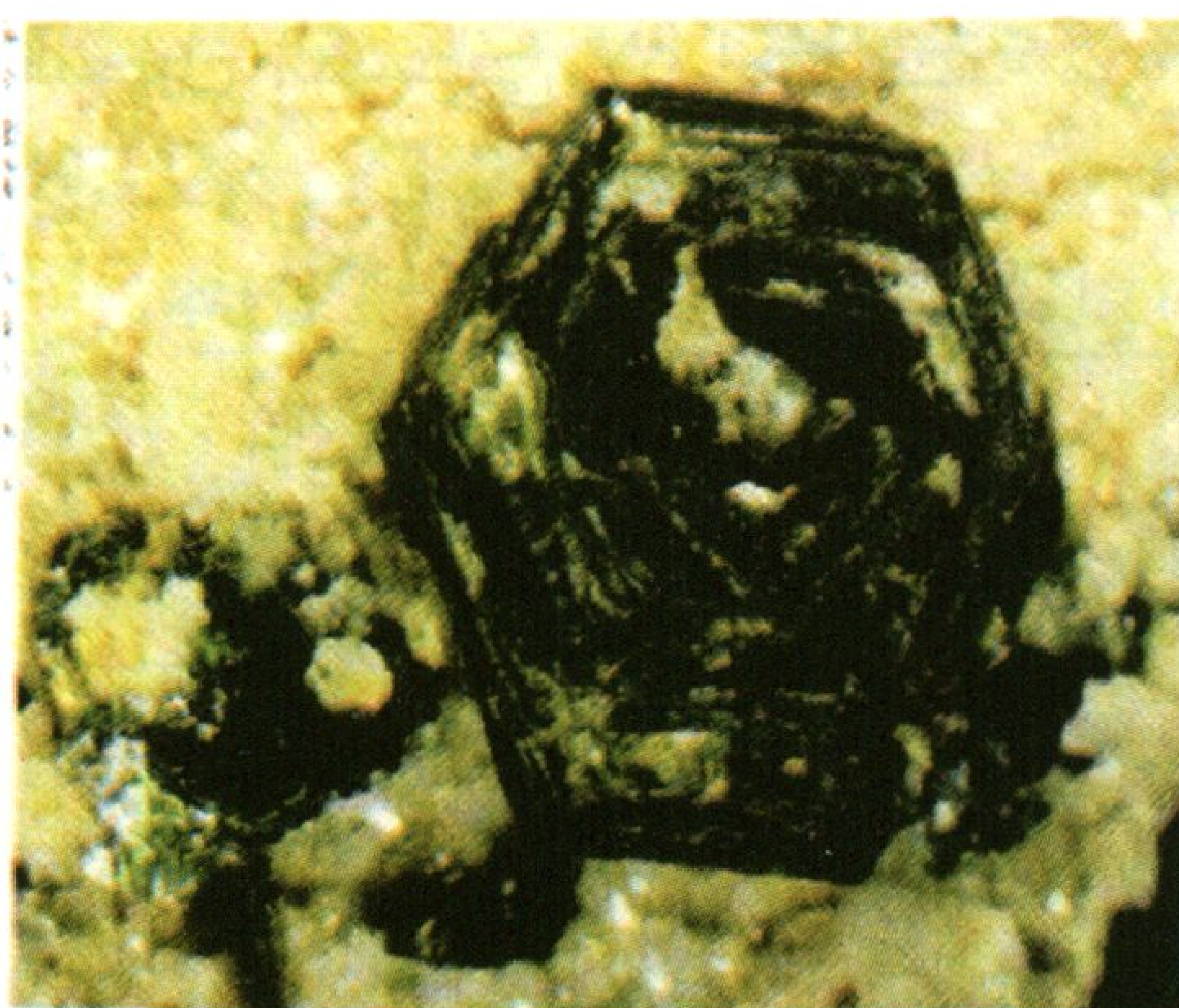
٢- ريبيدوليت (Ripidolite) من صخر كلوريت-إبيدوت-ألبيت شيست – ديفون الجنوبية (تيلى ١٩٣٨ Tilley).

٣- كلوريت من صخر الرخام، منطقة القظة جنوب المملكة العربية السعودية (دروب والفيلالى ١٩٩٦).

٤- شاموسيت (Chamosite) في حجر غريني- ويكوبير- جلوسيسترشير Gloucestershire (بانيستير ويتارد ١٩٤٥ Bannister and Whittard).

٥- كلوريت بصخور سيليكات جيرية من منطقة حزام نابيطه، جنوب المملكة العربية السعودية (دروب والفيلالى ١٩٨٩)

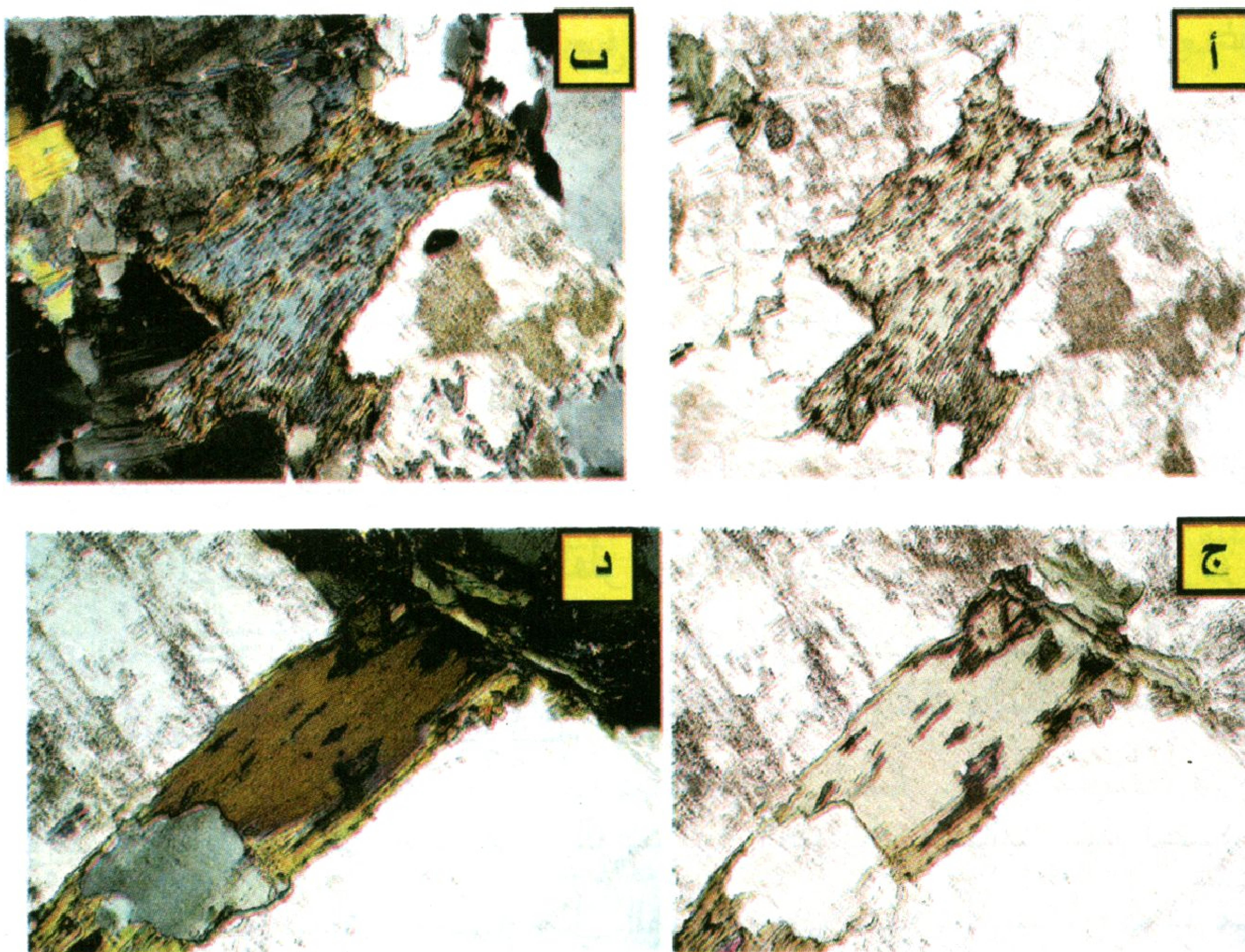
الصفات الفيزيائية والبصرية



شكل ٦-٢٥: معدن الكلوريت أخضر اللون في الشكل السداسي الكاذب

ينعكس التغير الكبير في التركيب الكيميائي لمعدن الكلوريت على خصائصه الفيزيائية والبصرية وكذلك خصائص خلية الوحدة. يأخذ المعدن اللون الأخضر بدرجات مختلفة ويندر وجود الأنواع الصفراء أو البيضاء أو الوردية وقد تأخذ بلورات المعدن مظهر سداسي كاذب (شكل ٦-٢٥). البريق زجاجي أو لؤلؤى والمعدن شفاف إلى نصف شفاف، يظهر بدون لون أو أخضر في القطاعات الرقيقة وله تغير لونى ضعيف إلى متوسط (أخضر زيتوني إلى أخضر قاتم)، ولكن التغير اللونى قوى للأنواع الغنية بالحديد. تغير زيادة نسبة الحديد بالمقارنة بالماغنسيوم من ألوان التداخل (شكل ٦-٢٦). المخدش من أبيض إلى أبيض مخضر. الصلادة = ٢-٢,٥ والانفصام قاعدي {001}، تنثني صفائح المعدن ولكنها غير مرنة. الوزن النوعي = ٢,٦-٢,٩.

معظم معادن الكلوريت ثنائية المحور موجبة ولكن البعض سالب بصرياً. تبلغ معاملات الانكسار ألفا (α)= ١,٥٧- ١,٦٦ وبيتا (β) = ١,٥٧ - ١,٦٧ وجاما (γ)= ١,٥٧-١,٦٧. المعدن له قرينة انكسار مزدوج صغيرة (δ = ٠,٠٠-٠,٠١٥) والزاوية البصرية ($2V$) =٢٠-٦٠°. وتزداد معاملات الانكسار بزيادة نسبة الحديد وبانخفاض نسبة السيليكون. للمعدن قرينة انكسار مميزة فهي أقل بكثير من معادن الميكا والإليت والكاولينيت والمونتموريللونيت والفيرميكيوليت.



شكل ٦-٢٦: ا- كلوريت غنى بالحديد فى وجود المستقطب
ب- كلوريت غنى بالحديد فى وجود المستقطبين المتعامدين
ج- كلوريت غنى بالماغنسيوم فى وجود المستقطب
د- كلوريت غنى بالماغنسيوم فى وجود المستقطبين المتعامدين
http://www.union.edu/PUBLIC/GEODEPT/COURSES/petrology/ig_minerals.htm

التواجدات والصحبة المعدنية

معدن الكلوريت من المعان الشائعة الواسعة الانتشار ذات النشأة الثانوية. يتكون المعدن نتيجة تغاير معادن السيليكات المحتوية علي الألومنيوم والحديد الثنائى والماغنسيوم مثل البيروكسينات والأمفيبولات والبيوتيت والجارنت. فيوجد المعدن حيثما وجدت الصخور المحتوية على مثل هذه المعادن وخاصة فى الصخور التي تعرضت لتحول إقليمي منخفض الدرجة. يعتبر الكلوريت مميز لسحنة الشيست الأخضر. وتوجد بعض صخور الشيست مكونة كليا تقريبا من معدن الكلوريت. وكذلك يعزى اللون الأخضر لكثير من صخور الشيست والأردواز إلي وجود معدن الكلوريت منتشراً في الصخر على هيئة حبيبات دقيقة. في حالة التحول عالي الدرجة تقل نسبة

الكلوريت، وذلك لتحول الكلوريت مع الإبيـدوت، فـي وجـود أو غيـاب الأكتينوليت، إلي أمفيبول وبلاجيوكليز.

يعزى اللون الأخضر أيضاً فى كثير من الصخور النارية إلـي وجـود الكلوريت الذي نتج من تغاير معادن البيروكسين والأمفيبـول والبيوتيـت بالمحاليل الحرمائية. ويرتبط التركيب الكيميائى للكلوريـت مـع التركيـب الكيميائي للمعدن الأصلي. ويوجد الكلوريت في بعض الفجـوات بـالطفوح البركانية مع الإبيدوت والفلسبار القلوى والكوارتز والسيرسيت والزيوليـت والكربونات والبيريت. فهو ناتج أساسي للتحول الشديد بالمحاليل الحرمائيـة للأنديزيت وبعض صخور البازلت.

ويوجد الكلوريت في الصخور الرسوبية الطينية، وغالباً مايتواجـد فـي تركيب مختلط مع معادن طينية مثل المنتموريللونيت والإليت مكونا معـدن طيني مختلط الطبقات Mixed- layer clay mineral. ويتكون الكلوريت فـي الصخور الرسوبية من تحلل المعادن الفيرومـاغنسية أو إعادة بناء المعـادن السيليكاتية الصفائحية الأقل في درجة التبلور.

مجموعة السربنتين Serpentine Group

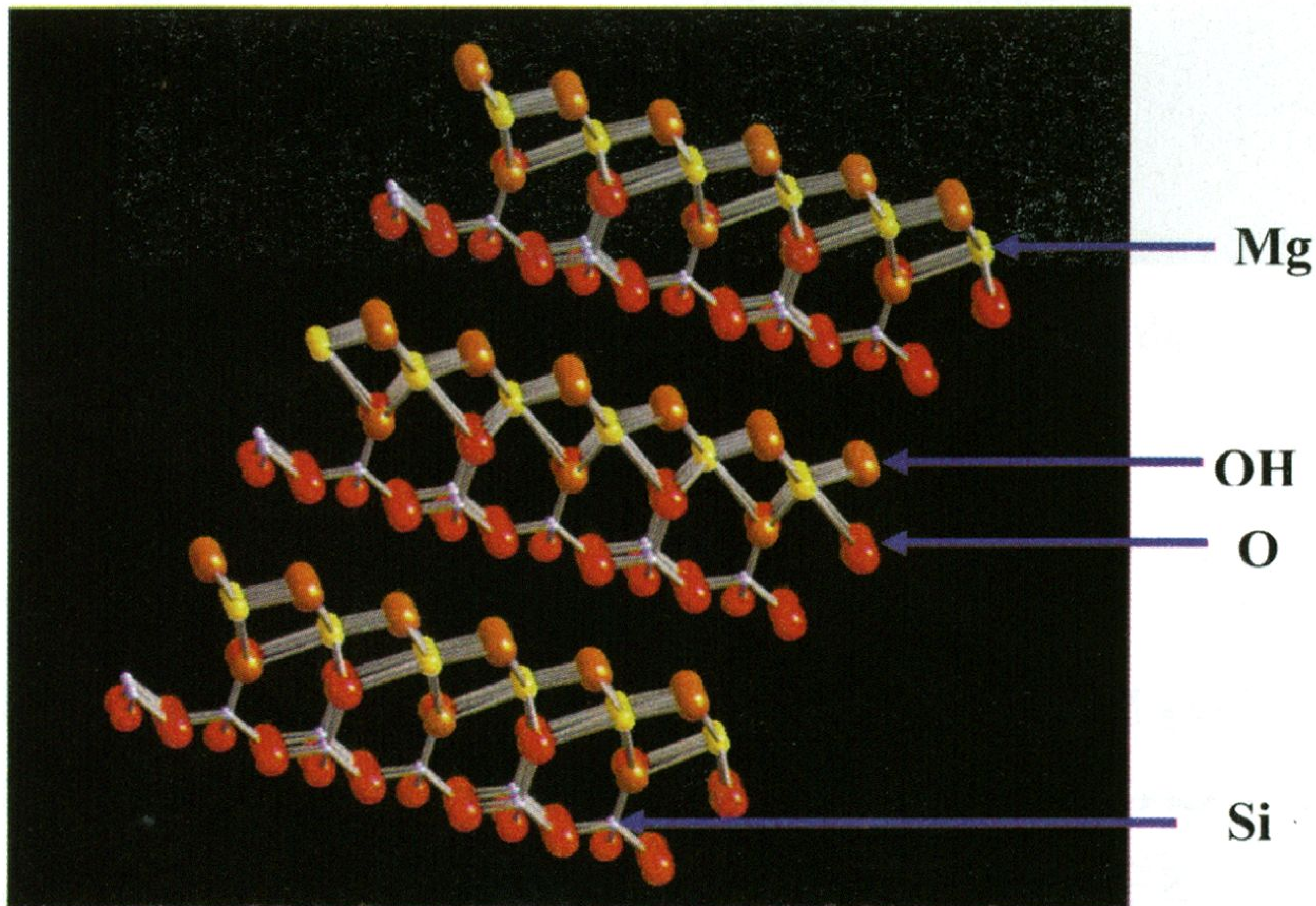

$Mg_6(Si_4O_{10})(OH)_8$

يرجع اسم السربنتين إلى كلمة سربنت Serpent وهى نوع من الثعـابين تعبيراً عن ألوانه المتعددة. لمجموعة معادن الـسربنتين تركيـب كيميـائي متقارب ولكن يوجد لها ثلاث أشكال أساسية وهى الكريزوتيـل Chrysotile والليزرديت Lizardite والأنتيجوريت Antigorite. أكثرها انتشارا وأهمهـا الكريزوتيل لأنه يشكل المصدر الاساسي للأسبستوس Asbestose. فأليـاف أسبستوس الكرزوتيل لها عزم شد أكبر من عزم ألياف الأمفيبـول. تتـوافر فيها أيضاً خصائص الألياف الضرورية، مثل مقاومة الأحماض والحـرارة، مثلها مثل ألياف الأمفيبول. يبلغ سمك ألياف الكريزوتيل عادةً أقل مـن ٠,٥ بوصة ولكن قد تصل أحيانا إلي ٦ بوصة. يعرف أسبـستوس الكريزوتيـل بالأسبستوس الأبيض وذلك لتمييزه عن الأسبـستوس الأزرق Crocidolite

لأحد معادن الأمفيبول (الريبيكيت Riebeckite) والأسبستوس البني (أموزيت Amosite) لمعدن أخر من الأمفيبول. يرجع اسم أنتيجوريت إلى منطقة أنتيجوريو في إيطاليا والكريزوتيل من الكلمات اللاتينية التي تعني الذهبي والليفي.

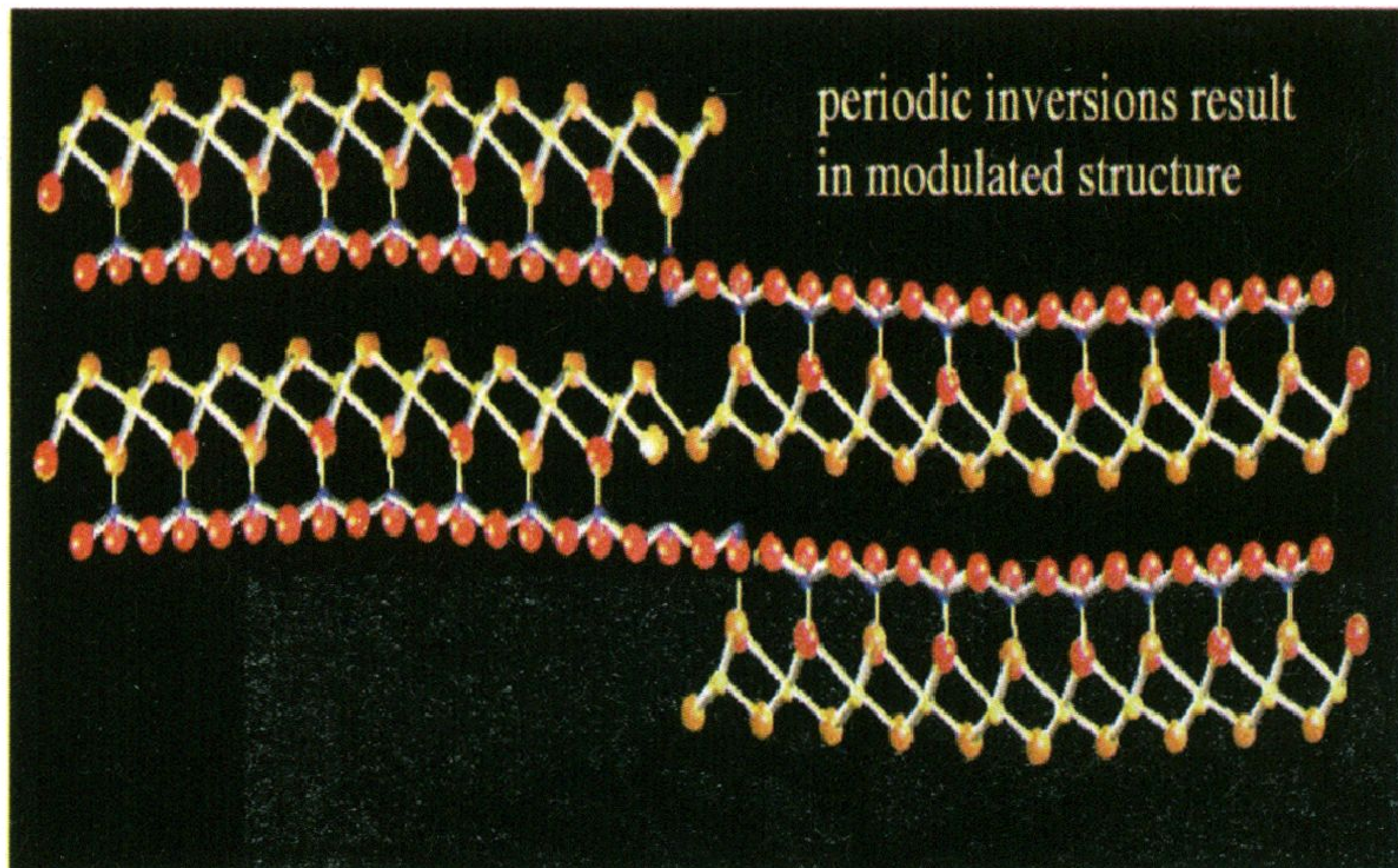
البنية البلورية

يتبلور المعدن في فصيلة الميل الواحد. مجموعة النقطة 2/m والمجموعة الفراغية *C2/m*. يتبع البناء البلوري للسربنتين البناء الطبقي ١:١ (T-O) المماثل لبناء الكاولينيت (شكل ٦-٢٧) لكن يختلف عن الأخير في كونه ذو طبيعة ثلاثي الثماني ويختلف أيضاً في طريقة إرتباط الصفائح. وتتكون الصفيحة فى السربنتين من طبقتين إحداها لها تركيب البروسيت ثمانى الأوجه $Mg(OH)_6$ والأخرى رباعى الأوجه السيليكاتى SiO_4. يمتاز البناء البلوري لمعادن السربنتين بوجود التداخل غير المتناسق Misfit بين شرائح ثمانيات الأوجه ورباعيات الأوجه، ويحدث هذا نتيجة أن حواف ثمانى الأوجه الممثل بطبقة البروسيت أكبر من المسافات بين ذرات



شكل ٦-٢٧: البناء البلوري لمعدن السربنتين، ١:١ (T-O) (طبقة رباعى الأوجه SiO_4 : طبقة البروسيت $Mg(OH)_6$)

الأكسجين الطرفية في طبقة رباعى الأوجه. تأخذ كل رباعيات الأوجه فى هذه الطبقة إتجاه واحد وترتبط بطبقة البروسيت بحيث يحل الأكسيجين الطرفى فى رباعى الأوجه محل إثنين فقط من الهيدروكسيل من طبقة البروسيت. تبلغ المسافة العمودية بين هذه الصفائح المركبة حوالى ٧,٣ أنجستروم. يُعدّل هذا التداخل غير المتناسق في الكريزوتيل والأنتيجوريت بإنثناء طبقة رباعيات الأوجه (إمتداد المسافات بين أيونات الأكسجين الطرفية). لا يكون الإنثناء في الأنتيجوريت مستمر ولكن يحدث إنعكاس Corrugations (شكل ٦-٢٨). ويستمر إنثناء التركيب البنائي في الكريزوتيل ليكون أنابيب اسطوانية.

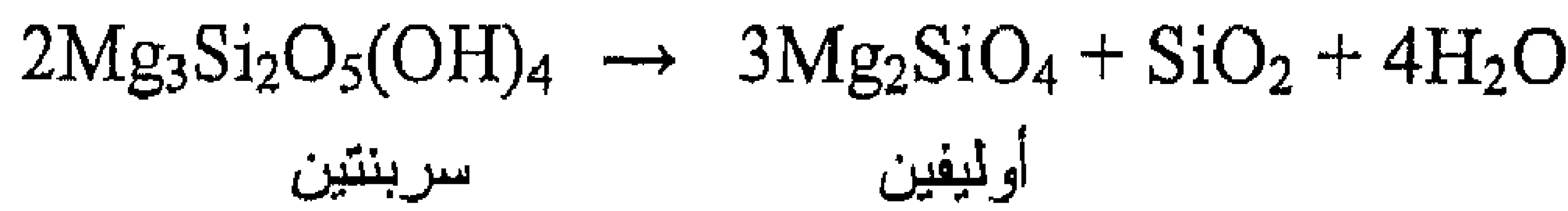


شكل ٦-٢٨: إنعكاس طبقة رباعيات الأوجه لتكوين بناء معدن الأنتيجوريت الصفائحي (كينز ١٩٦١ Kunze).

كيميائية المعدن

لمعادن السربنتين صيغة عامة هى $Mg_6(Si_4O_{10})(OH)_8$ وتحتوى على حوالى ٤٣,٠٠% MgO، ٤٤,١٠% SiO_2، ١٢,٩٠% H_2O، مع وجود بعض التغييرات بسبب إحلال الألومنيوم محل السيليكون، وإحلال كل من الحديد والألومنيوم والنيكل محل الماغنيسيوم (جدول ٦-١٠). رغم أن السربنتين يتكون من صخور البريدوتيت Peridotite والدونيت نتيجة تحول معادن

الأوليفين الحاوية علي الحديد تحت تأثير المحاليل الحرمائية فأن الحديد لا يدخل في تركيب السربنتين بشكل أساسى، ولكن يكّون أكاسيد منفصلة من الماجنيتيت أو الهيماتيت مصاحبة للمعدن. ويسبب تواجد أشكال متعددة من هذه الأكاسيد فى إختلاف شكل صخور السربنتينيت من مكان إلى أخر. يتأثر السربنتين بالحرارة فإذا سخن في الهواء لدرجة ٦٠٠°م فإنه يتحول إلى الأوليفين كما فى المعادلة الأتية:



$$2Mg_3Si_2O_5(OH)_4 \rightarrow 3Mg_2SiO_4 + SiO_2 + 4H_2O$$

سربنتين   أوليفين

جدول ٦-١٠: نماذج من التحاليل الكيميائية لأنواع مختلفة من السربنتين

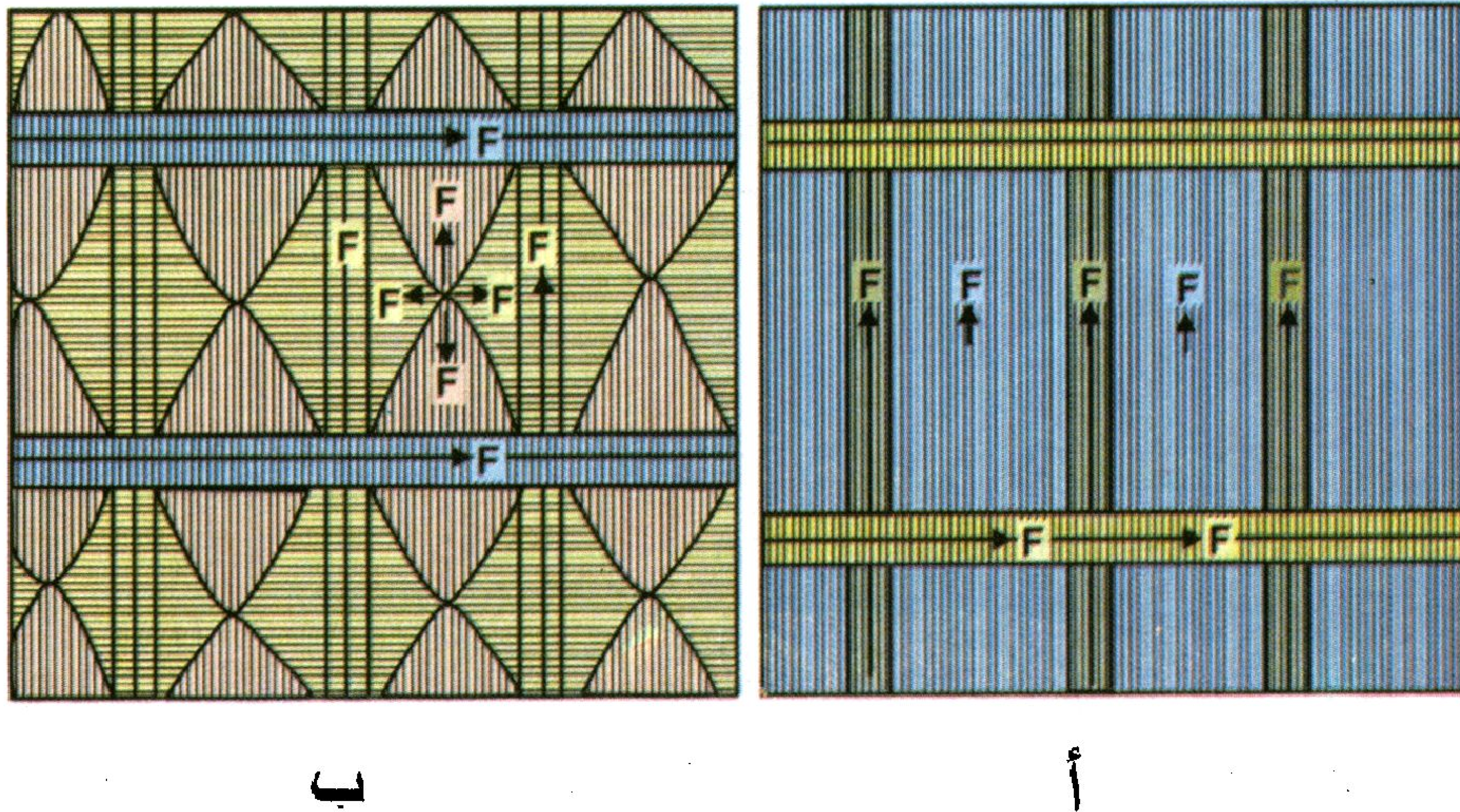
الأكاسيد	١	٢	٣	٤
SiO_2	٤١,٨٣	٤١,٢٥	٤٣,٦٤	٣٥,٩٥
TiO_2	٠,٠٢	٠,٠٢	٠,٠١	٠,٠٠
Al_2O_3	٠,٣٠	٠,٥٤	١,٠٣	٠,٥٠
Fe_2O_3	١,٢٩	١,٣٢	٠,٩٠	٥,١٢
Cr_2O_3	-	-	٠,٠٢	–
FeO	٠,٠٨	٠,٠٩	٠,٨١	٣,٤٨
Ni_2O	–	–	٠,١٦	–
MnO	٠,٠٤	٠,٠٧	٠,٠٤	٠,١٢
MgO	٤١,٣٩	٤١,٨٤.	٤١,٠٠	٣٩,٧٥
CaO	ضئيل	٠,٠٢	٠,٠٥	٠,٧٤
K_2O	–	–	٠,٠٣	٠,٠٠
Na_2O	–	–	٠,٠١	٠,٠٠
H_2O^+	١٣,٦٦	١٣,٦٨	١٢,١٨	–
H_2O	١,٥٧	٠٠,٩٧	٠,٠٨	–
الأجمالي	١٠٠,١٨	٩٩,٨٠	٩٩,٩٢	٨٥,٦٦

١- كريزوتيل -ترنسفال (بريندلى وزوسمان ١٩٥٧)
٢- ليزرديت- ترنسفال (دير وأخرون ١٩٧٨)
٣- أنتيجوريت- فنزويلا (هيس وأخرون ١٩٥٢)
٤- سربنتين -جبل مدرجج- جنوب الصحراء الشرقية- مصر (الغرباوي ١٩٨٩)

الصفات الفيزيائية والبصرية

لون السربنتين متغير بدرجة كبيرة ومن هذه الخاصية جاءت تسمية المعدن وأكثر الألوان شيوعاً الأخضر بدرجات متفاوتة والرمادى والأحمر والبنى والأسود. البريق راتنجي أو شحمي أو شمعي والمعدن نصف شفاف والمخدش أبيض. تتراوح الصلادة مابين ٢,٥-٣,٥ والإنفصام قاعدى موازى للمستوى {001} والمكسر محاري أو ليفي والوزن النوعي = ٢,١-٢,٦٥. من خصائص ألياف أسبستوس الكريزوتيل أن نسبة الطول إلى العرض تزيد عن ١٠٠ : ١ (شامبنيس وأخرون Champness et al.١٩٧٦). المعدن ثنائى المحور سالب وتبلغ معاملات الانكسار ألفا (α)= ١,٥٢٩-١,٥٩٥ وبيتا (β)= ١,٥٣٠- ١,٦٠٣ وجاما (γ) = ١,٥٣٧-١,٦٠٤. قرينة الانكسار المزدوج (δ) للكريزوتيل =٠,٠١٣ وللأنتيجوريت ٠,٠٠٧ والزاوية البصرية متغيرة ($2V$)=٣٧-٦١°.

يتميز السربنتين في المقاطع الرقيقة بين المستقطبين بوجود النسيج الشبكى او الشباك أو زجاجة الساعة Mesh or window or hour glass structure، شكل (٦-٢٩).



ب أ

شكل ٦-٢٩: رسم يوضح أنسجة معدن السربنتين أ- الشبكى, ب- زجاجة الساعة

التواجدات والصحبة المعدنية

يوجد السربنتين في صخور الكربونات المتحولة مصاحبا الماجنيتيت وأنواع أخرى من المعادن الغنية بالماغنسيوم مثل التريموليت والكلوريت والدولوميت والماجنيزيت والديوبسيد والتلك والجروسيولار والبروسيت والفلوجوبيت. قد توجد بقايا من الأوليفين مع السربنتين إذا لم تكن عمليات تحوله كامله. ينتشر الأنتيجوريت أكثر في رواسب التلك أما الكريزوتيل ففي صخور الكربونات كما في جنوب أفريقيا وأريزونا بأمريكا. يعتبر الكريزوتيل أكثر معادن السربنتين شهرة ولكنه أقلها تواجداً. يوجد في صورة عروق أو كتل في صخور السربنتينيت حيث يتكون في المرحلة الأخيرة من نشاط المحاليل الحرمائية (فيبلن وويلى ١٩٩٣ Veblen and Wylie).

يُنتج الكريزوتيل كأسبستوس بكميات تجارية في كل من كويبك وأونتاريو بكندا وفيرمونت وجنوب أفريقيا والإتحاد السوفيتي السابق وأريزونا وكاليفورنيا وأماكن أخرى من العالم (روس ١٩٨١ Ross). السربنتين معدن منتشر في الصخور المختلفة التابعة لحقب البريكامبرى علي الساحل الشرقي والغربي للولايات المتحدة وفى الدرع العربى النوبى فى كل من مصر والمملكة العربية السعودية والسودان وأثيوبيا واليمن. يوجد فى مصر فى عدة أماكن فى الصحراء الشرقية منها البرامية وزرقة النعام وجبل مدرجج وفى المملكة العربية السعودية يوجد فى مناطق حمضة وجبل الوسق والدفينة ومقنا وجبل ملحة وأملج ووادى أم أسيلة.

الاستخدامات

إلي وقت قريب كانت تستخدم الأنواع الأليافية من السربنتين (كريزوتيل) كمصدر للأسبستوس الذي يعرف بالأسبستوس الأبيض وكان يشكل ٩٥% من إنتاج العالم من الأسبستوس والـ ٥ % الباقية كان يمثلها أسبستوس الأمفيبول (شراير ١٩٨٩ Schreier وكلين وهيرلبوت ١٩٩٣ Klein and Hurlbut). ويستعمل الأسبستوس في صناعة العوازل الخاصة ضد الحريق والحرارة والكهرباء. وفي أواخر الثمانينيات من القرن العشرين الميلادي،

أكتشف تأثير ألياف الأسبستوس علي صحة الإنسان والحيوان حيث يسبب أورام خبيثة في الغشاء البلوري للرئة والتليف الرئوي (شيرج Churg ١٩٩٣ وكلاين Klein ١٩٩٣)، مما أدى إلي خفض نسبة استعمال الأسبستوس بكافة أنواعه. أما الأنواع الكتلية من السربنتين ذات اللون الأخضر الفاتح أو الداكن فتستعمل في أحجار الزينة أو الديكور وقد يستعمل كحجر للبناء. أما إذا كان السربنتين مختلطا مع الرخام الأبيض فيكسبه ألوانا ذات عروق جميلة، ويطلق علي الرخام في هذه الحالة اسم الرخام الأخضر (Verde Antique Marble).

المعادن الطينية Clay Minerals

هى معادن ثانوية تنتج من تجوية شديدة لمعادن أولية حاوية فى الغالب على الألومنيوم. مثل تكون الكاولينيت من الأرثوكليز وتكون معادن الإليت والفيرموكيوليت بنزع أيونات البوتاسيوم البينية من الميكا الأولية. قد يوجد معدن الطين منفرداً ولكن عادةً مايوجد أكثر من معدن طين مختلط مع غيره من المعادن مثل الكوارتز والفلسبار والمعادن الكربوناتية والميكا. تظهر جميع معادن الطين درجات متفاوتة من التمدد أو الانتفاش. فيتمدد المونتموريللونيت أكثر نسبياً من الكاولينيت والإليت. تشمل المعادن الطينية مجموعة من المعادن الثانوية رغم أن بنائها البلوري يماثل بناء المعادن الأولية، فهي سيليكات صفائحيه. تتكون هذه المعادن الثانوية من صفائح رباعي الأوجه السيليكاتى وصفائح من هيدروكسيد الألومنيوم مع أو بدون صفائح من هيدروكسيد الماغنسيوم. وقد توجد العناصر القلوية بصفة أساسية فى التركيب الكيميائي لمعادن الطين.

يطلق لفظ طين Clay أيضا علي أحد أنواع الصخور الرسوبية الميكانيكية التى تتكون من معادن الطين. كما يطلق علي حبيبات المعادن التي تقل فى حجمها عن ٢ ميكرون والتي تصبح سهلة التشكيل Plastic إذا مابللت بقدر يسير من الماء. لا يمكن تمييز المعادن الطينية عن بعضها البعض إلا باستعمال الأشعة السينية والوسائل البصرية.

مجموعات المعادن الطينية الأساسية تشمل الآتي:

١- مجموعة الكاولينيت: وتضم الكاولينيت والديكيت والنكريت والهالوسيت.
٢- مجموعة الإليت وتضم الإليت والميكا المائية والجلوكونيت والفينجيت والبراماليت والسيلادونيت.
٣- مجموعة السميكتيت وتضم المونتموريللونيت والنينترونيت والهيكتوريت والصابونيت والساكونيت.
٤- الفيرميكيوليت.
٥- مجموعة البيليجروسكيت: وتضم البيليجروسكيت وأوتابيلجيت وسيبيوليت.

Kaolinite group (Kandites) الكاولينيت



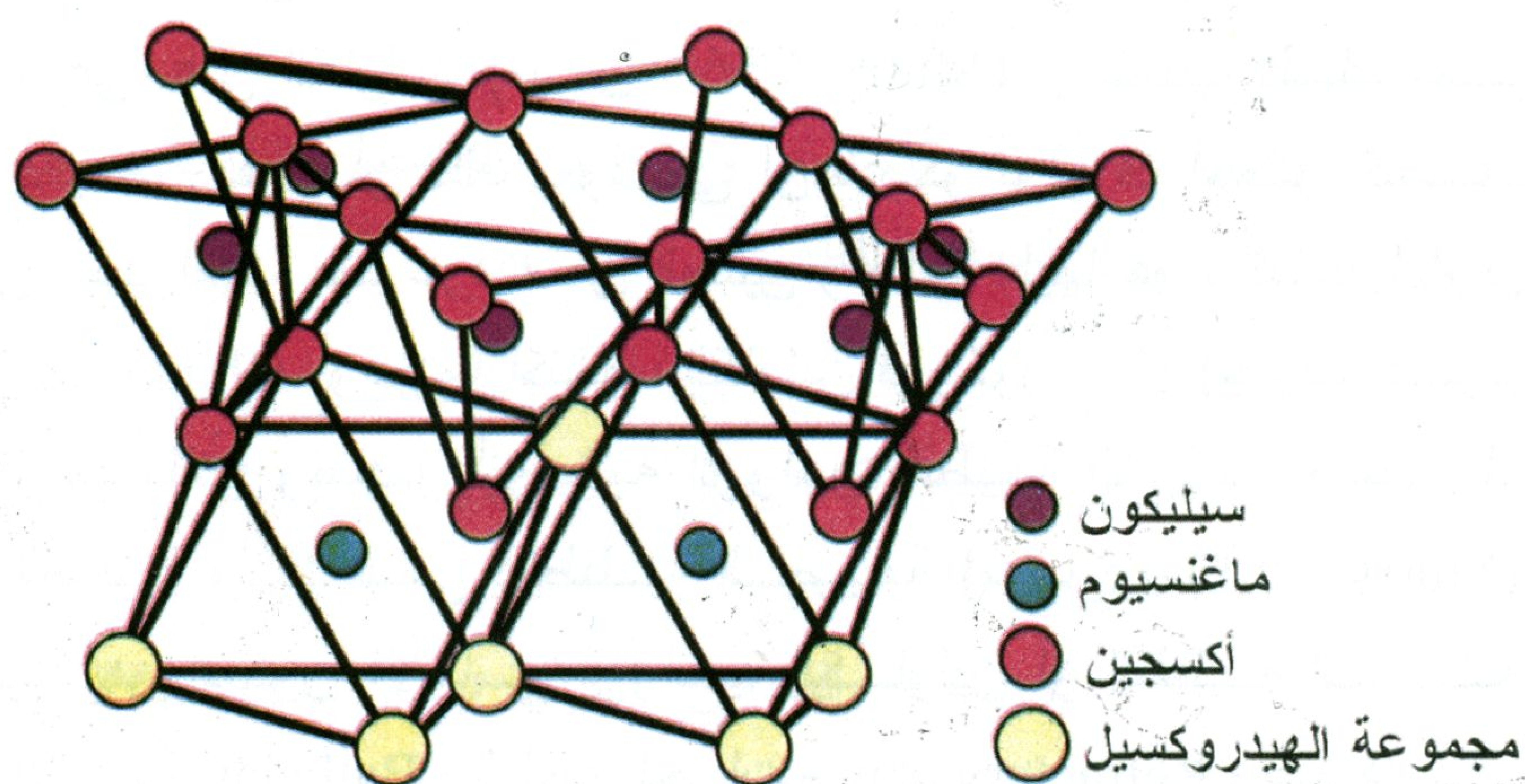
$Al_2Si_2O_5(OH)_4$

يتكون الكاولينيت من سيليكات الألومنيوم المائية ويشمل على مجموعة من المعادن (الكاولينيت، الديكيت، النكريت، الهالوسيت) أشهرها وأكثرها انتشاراً هو معدن الكاولينيت. يمتاز المعدن بتركيب كيميائي وبناء بلوري ثابت ومحدد. أُشتق اسم الكاولين من كلمة صينية وهي *Kauling* ومعناها التل العالي وهو اسم تل بالصين حيث أُستخرج المعدن منه منذ القدم ولعدة قرون (زينج وأخرون Zheng et al. ١٩٨٢). لأسم الكاولين أكثر من معنى: ١- اسم مجموعة معادن طينية، ٢- اسم صخر رسوبى، ٣- اسم عائلة معادن صناعية. وفي مختلف دول العالم يطلق الطفلة الصينية China clay كاسم صناعى علي الكاولين (ميرى Murry ١٩٨٨). وسبب ذلك غير واضح، فالبعض يقول أن ذلك يعود إلى أن ماركو بولو قد أحضر كميات كبيرة من السيراميك عند عودته من الصين وأطلق عليها هو وأتباعه الأواني الصينية Chinaware. وعندما أُكتشف الكاولين في كورنوول (جنوب غرب إنجلترا)، بعد ذلك، وصف بأنه يشبه الرواسب الطينية التي يُصنع منها تلك الأواني الصينية ولذلك سمي بالطفلة الصينية (ميرى Murry ١٩٩١). فالكاولينيت هو المكون الأساسي لرواسب الكاولين أو الطفلة الصينية، والطفلة الكروية Ball clay والطفلة الحرارية Refractory clay وغيرها.

البنية البلورية

يتبلور المعدن فى فصيلة الميول الثلاثة نظام الوجهى Pedial. مجموعة النقطة 1 والمجموعة الفراغية *P*1. وتبلغ أبعاد خلية الوحدة أ= ٥,١٥ ، ب= ٨,٩٣، ج= ٧,٣٧ أنجستروم وزاوية (β) = ١٠٤,٨° وزاوية (γ) =٩٠° (نيدر وأخرون Neder et al. ١٩٩٩). ويبلغ مقدار ماتمتلكه خلية الوحدة ذرة واحدة (Z)=١.

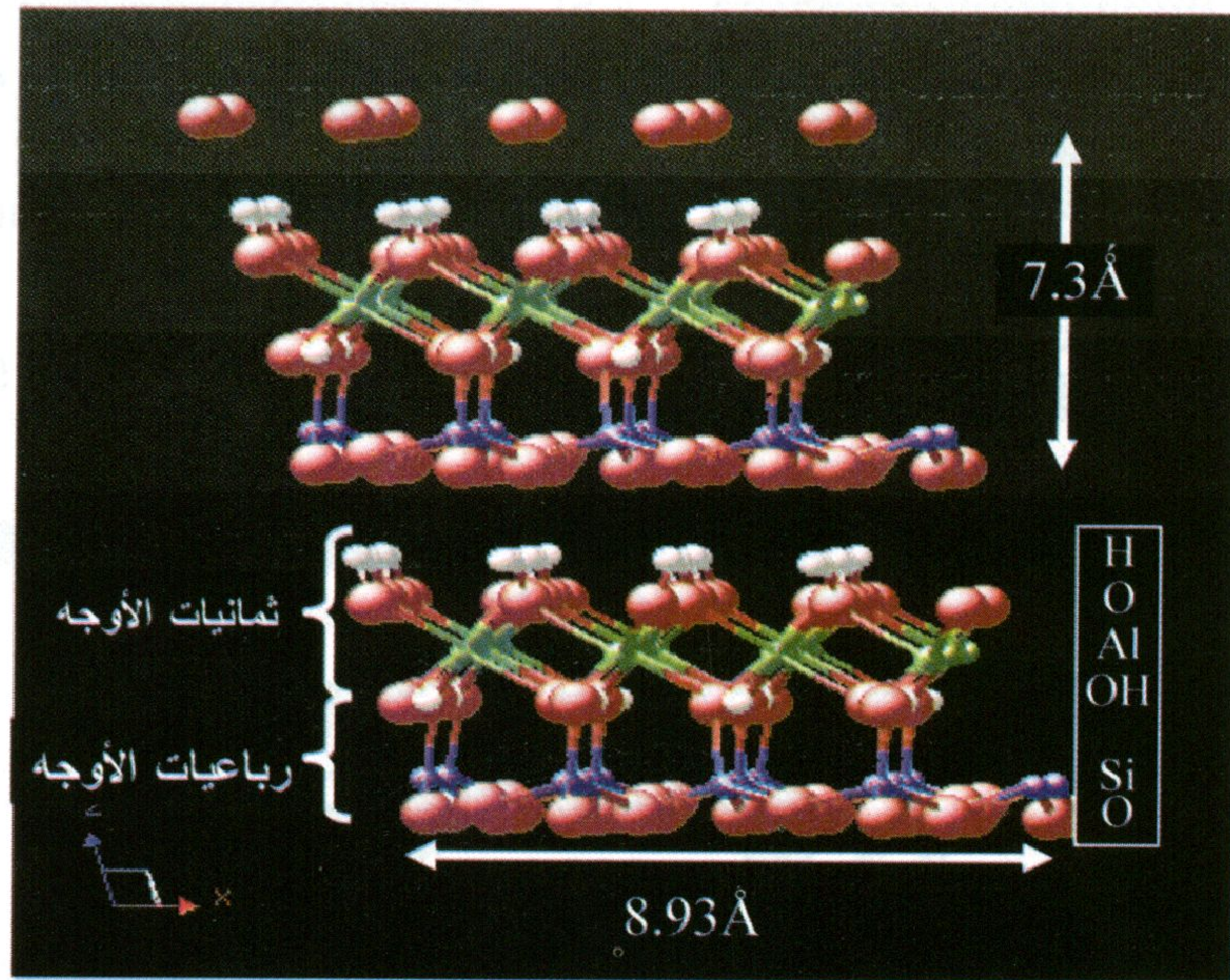
يتكون البناء البلوري لمعادن الكاولينيت من طبقة من رباعيات الأوجه مرتبطه بطبقة من ثمانيات الأوجه. لذا فهي تصنف تبعاً للسيليكات ١:١ (T-O) (أنظر شكل ٦-٣أ). يتكون سطحي الطبقة من أيونات مختلفة، فسطح يتكون من (O^{2-}) رباعيات الأوجه والأخر يتكون من أيونات (OH^-) ثمانيات الأوجه (شكل ٦-٣٠). وعندما تلتصق الطبقتان لتكوين صفيحة الكاولين، توجد أيونات الهيدروكسيل فى أحداهما بالقرب من أيونات الأكسجين من الطبقة الأخرى المجاورة. لذلك ينجذب الهيدروجين (H^+) إلى طبقة أيونات (OH^-) بقوة جذب إليكتروستاتيكية ويرتبط بالأكسجين السالب في الطبقة المجاورة برابطه هيدروجينية (شكل ٦-٣١). بهذه الطريقة ترتبط صفائح الكاولينيت بعضها ببعض جيدا مما يجعل الكاولينيت معدن غير قابل للتمدد نسبياً Non-expanding وغير قابل لإمتصاص الماء في المسافات البينية في



شكل ٦-٣٠: البناء البلورى للكاولينيت

بناءه البلوري (ويت ١٩٨٧ White). كما أن المسافة التى تمثل سمك الصفيحة في الكاولينيت وهى طول البعد "ج" فى خلية الوحدة ثابتة عند ٧,٣ أنجستروم وهي أقل مسافة إذا ما قورنت بالمعادن الطينية الأخرى إذ لا يوجد أي جزيئات لأي مادة أو كاتيونات في المسافات البينية للبناء البلورى.

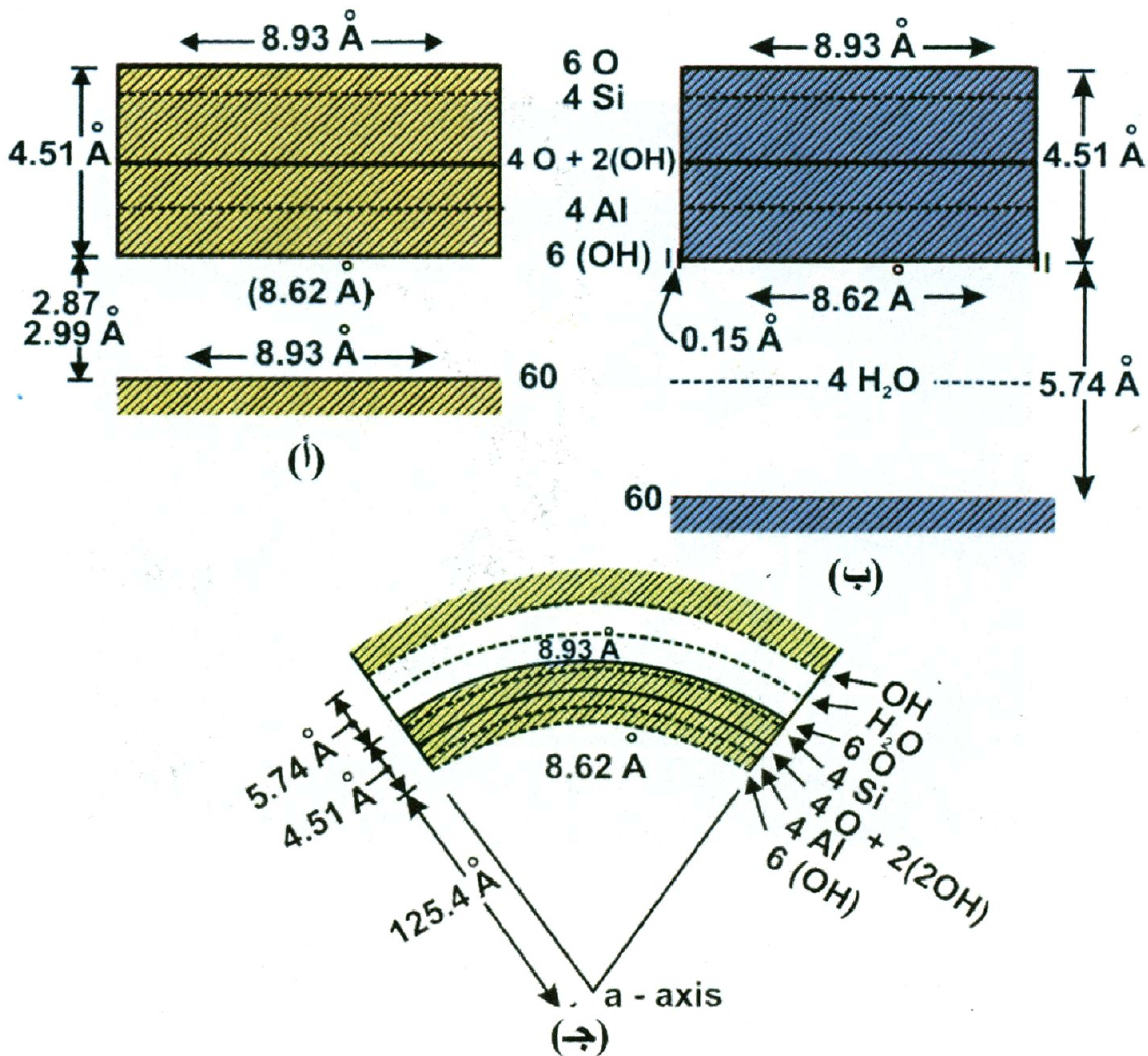
كما هو الحال فى بعض أنواع الميكا، تتخذ ثمانيات الأوجه فى الكاولينيت هيئة ثنائي الثماني مما يدل على وجود موقع من الثلاث مواقع في ثمانيات الأوجه فارغاً. وجود مثل هذا البناء (مواقع مملوءة بالكاتيونات وأخرى فارغة في طبقة ثمانيات الأوجه) يعمل علي تشوه الشكل السداسي. فالمواقع الفارغة تشغل مساحة أكبر من المواقع المملوءة، وذلك بسبب عدم وجود كاتيون في المركز يجذب الأيونات المجاورة للداخل .



شكل ٦-٣١: البناء البلوري للكاولينيت: لاحظ وجود الهيدروجين على السطح العلوى لثمانيات الأوجه والأكسيجين على السطح السفلي لرباعيات الأوجه (بيش ١٩٩٣ Bish)

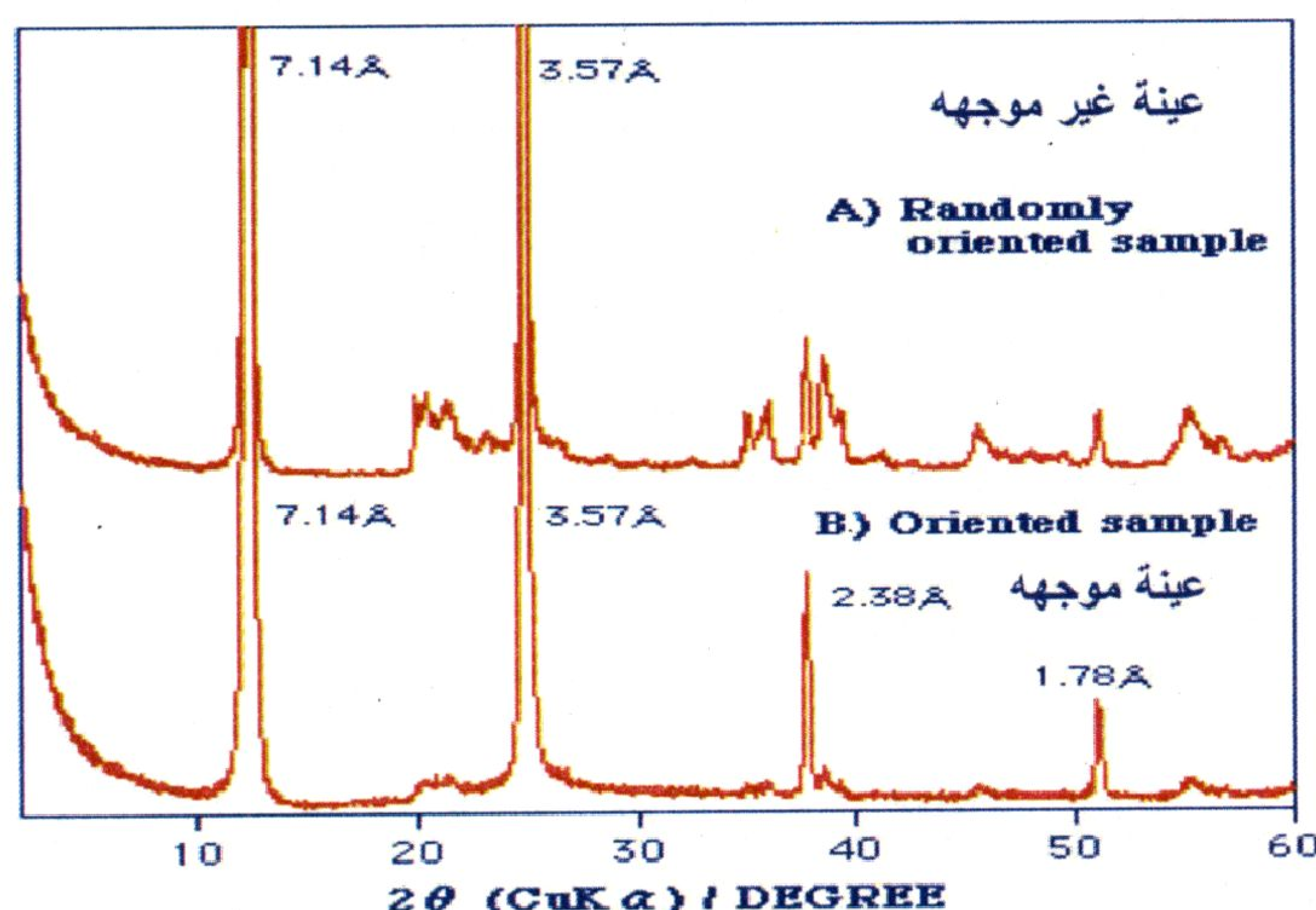
يماثل معدنى الديكيت والنكريت تماماً الكاولينيت في التركيب الكيميائى، لكن فى البنية البلورية نجد أن صفائح هذين المعدنين ملتصقة بطريقة

منتظمة ومختلفة عن الكاولينيت. فتشمل وحدة الخلية فى الديكيت طبقتين والنكريت عدد ٦ طبقات. اما الهالوسيت Halloysite فيتكون من نفس الصيغة الكيميائية للكاولينيت بالإضافة إلي ٤ جزيئات ماء لتصبح الصيغة $Al_2Si_2O_5(OH)_4.4(H_2O)$. يوجد هذا الماء كطبقة بين الطبقات التركيبية للمعدن مما يسبب إرتباط ضعيف stacking Disordered وزيادة المسافة البينية (d_{001}) من ٧,٣ إلي ١٠ أنجستروم. وبذلك يصبح بناء الهالوسيت من ثلاث طبقات وهى علي الترتيب رباعيات الأوجه- ثمانيات الأوجه- الماء. كما يؤدى وجود الماء إلى إنثناء البناء البلورى للهالوسيت فى شكل أنبوبى (شكل ٦-٣٢) (جريم ١٩٦٨ Grim).



شكل ٦-٣٢: رسم يوضح البناء الصفائحي (أ) الكاولينيت، (ب،ج) الهالوسيت (جريم ١٩٦٨ Grim)

يوضح شكل (٦-٣٣) تحليل معدن الكاولينيت جيد التبلور بالأشعة السينية ويشير إلي وجود نتوءات قوية عند ٧,١٤ و٣,٥٧ أنجسترومو. يشير شكل النتوء في نموذج حيود الأشعة السينية إلي درجة تبلور المعدن، فكلما زادت درجة تبلور المعدن كلما كانت النتوءات مرتفعة وحادة. تتأثر درجة تبلور الكاولينيت مباشرة بالطحن. فينهار البناء البلوري للمعدن عند طحنه لمدة ساعة، لكن لا يحدث إنهيار تام إلي الحالة غير متبلورة حتى إذا زادت مدة الطحن إلي ١٠ ساعات (كريستوف وأخرون Kristof et al. ١٩٩٣). قد يتداخل أحياناً وحدات من الكاولينيت لتتبادل مع وحدات من السميكتيت في بناء واحد ليتكون معدن طيني مختلط Mixed-layer kaolinite/smectite.



شكل ٦-٣٣: نموذج حيود الأشعة السينية للكاولينيت

كيميائية المعدن

تركيب الكاولينيت الكيميائي ثابت وهو ممثل بالصيغة المثالية $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ ويحتوى علي حوالى ٤٦,٥٤% SiO_2 و ٣٩,٥% Al_2O_3 و١٣,٩٦% H_2O. التغيرات في كيميائية الكاولينيت محدودة فقد يحدث إستبدال للألومنيوم بالحديد وكل من الماغنسيوم والسيليكون بالألومنيوم بنسب ضئيلة قد يصعب تحديدها في البناء البلورى لضئالتها ولصغر حجم حبيبات الكاولينيت (دير وأخرون ١٩٩٢). وقد وجد ويت

(١٩٨٧ White) أن الحديد يستبدل الألومنيوم في حدود النسبة ١:٣٠. رغم ذلك فنادراً ما نجد التحليل الكيميائي السابق ذكره وذلك لوجود الكاولينيت مختلطاً مع معادن أخرى مثل الكوارتز وأكاسيد الحديد ومعادن الكربونات، يوضح ذلك جدول (٦-١١) ويشير إلي التحاليل الكيميائية لرواسب الكاولين في كل من المملكة العربية السعودية ومصر. الكاولينيت ثابت في مدى واسع من درجة الحامضية pH حيث لا يتأثر بتغيرها من ٤ إلي ٩. ويرجع ذلك

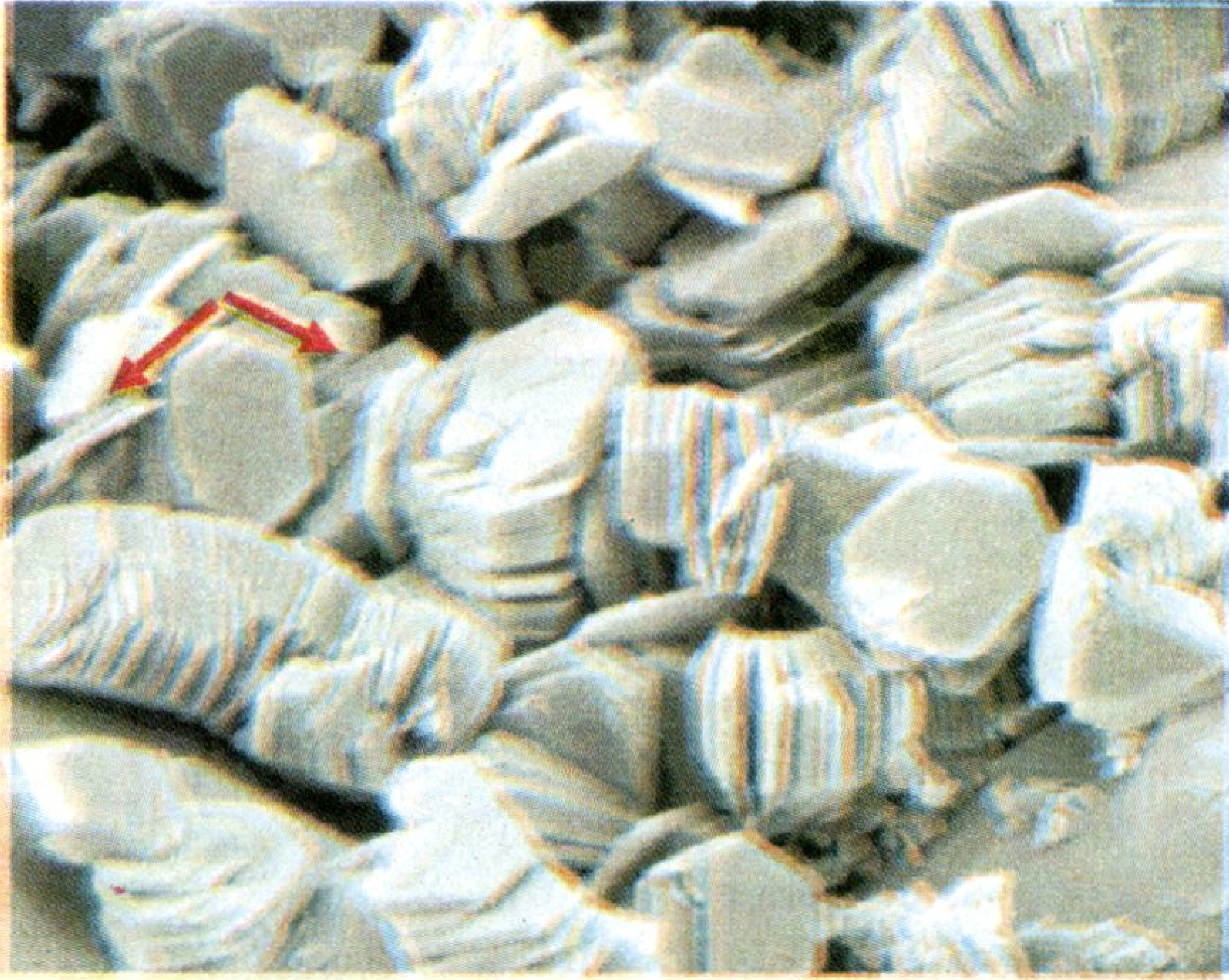
جدول ٦-١١: نماذج من التحاليل الكيميائية لرواسب الكاولين.

الأكسيد	١	٢	٣	٤	٥
SiO_2	٤٨,٠٠	٤٧,٠٠ -٥٥,٧٥	٥٢,٠٠	٤٤,١٠	٥٥,٣٠
Al_2O_3	٢٢,١٤	٢٥,٠٠ - ٢٩,٤٠	٣١,٨٠	٣٦,٧٠	٢٧,١٠
Fe_2O_3	–	٢,٤٠ - ٢,٦٠	١,٣٠	١,٤٠	٤,٢٠
TiO_2	–	١,٢٦- ٢,٠٥	٣,١٠	٢,٩٠	١,٧٠
CaO	١,٢٣	٠,٩٠-٢,٨٥	٠,٢٠	٠,٢٠	٠,٤٠
MgO	–		٠,١	٠,٢٠	٠,٤٠
K_2O+	–	٠,٤٠-١,٢٦	٠,٢٠	٠,١٠	٠,٤٠
Na_2O	–			٠,١٠	٠,٢٠
SO_3	٠,١٧	–	–	–	–
Cl	٠,٣٨	–	–	–	–
P_2O_5	–	–	٠,١٠	–	–
فاقد حريق	–	–	١١,٢٠	١٣,٥٠	١٠,٠٠
المجموع	٧١,٩٢	٨٥,٢٠-٨٥,٧١	١٠٠	٩٩,٢٠	٩٩,٣٠

١- طفلة ملونة (٨٠-٩٠% كاولين +١٠-٢٠% إليت) - تكوين الوسية- خشايم راضى- جنوب شرق الرياض- المملكة السعودية (المساحة الجيولوجية السعودية ٢٠٠٦)
٢- الكاولين الأبيض- تكوين الوسية - خشايم راضى- جنوب شرق الرياض - المملكة العربية السعودية (المساحة الجيولوجية السعودية ٢٠٠٦)
٣- كاولين جنوب هضبة التية- سيناء - مصر(غبريال ٢٠٠٤)
٤- كاولين كلابشة - جنوب اسوان - مصر (سرى وأخرون ٢٠٠٤)
٥- الطفلة الحرارية (الطفلة الأسوانلى) أبو الرايش- شمال شرق اسوان - مصر (سرى وأخرون ٢٠٠٤).

إلي ثبات مكوناته وعدم أو قلة ذوبانها في المحاليل في هذا المدى لذلك فهو من أكثر المعادن ثباتاً في التربة (ديكسون ١٩٧٧ Dixon).

الصفات الفيزيائية والبصرية

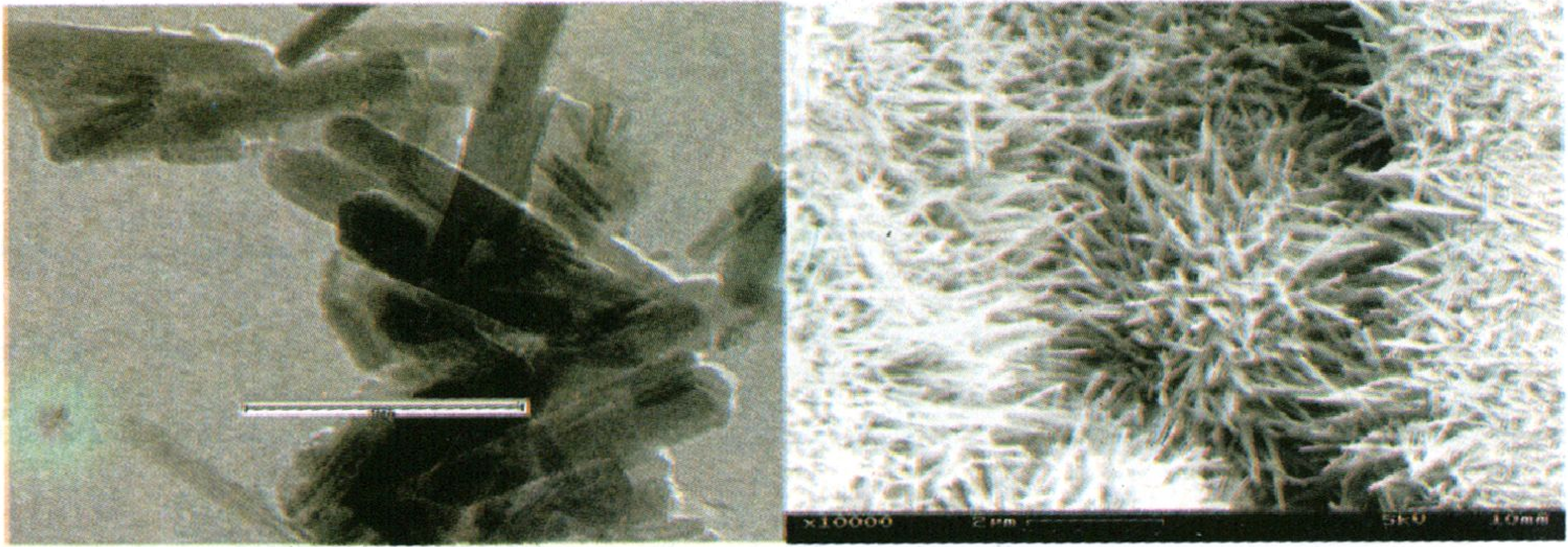


شكل ٦-٣٤: صورة بالميكروسكوب الإلكتروني لكاولينيت جيد التبلور وتوضح الهيئة المنشورية والألواح السداسية وإتجاهات المحاور البلورية

اللون أبيض ولكنه يتلون كثيراً تبعاً لنوع الشوائب الموجودة. البريق ترابى أو مطفى والملمس شحمى أما الصفائح المتبلورة فبريقها لؤلؤى والمعدن نصف شفاف إلى معتم ومخدشه أبيض. الصلادة = ٢-٢,٥ والانفصام قاعدى كامل {001} والوزن النوعي =٢,٦١-٢,٦٨. يوجد الكاولينيت عادةً في هيئة كتل طينية الشكل إما أن تكون متماسكة أو هشة. يوضح الميكروسكوب الالكتروني أن معادن الكاولينيت والديكيت والنكريت تتواجد في هيئة قشور رقيقة وصغيرة جداً معينية أو سداسية كاذبة (شكل ٦-٣٤). أما الهالوسيت فيوجد غالبا فى هيئة طاولات (بيوتل سبيشير وماريل ١٩٦٨ Beutelspacher and Marel) أو في صورة ألياف لاتشبة ألياف الأسبستوس ولكن أقرب إلى هيئة أنابيب (شكل ٦-٣٥). المعدن ثنائى المحور سالب وتبلغ معاملات الانكسار ألفا (α) = ١,٥٥٣- ١,٥٦٥ وبيتا (β)= ١,٥٥٩ - ١,٥٦٩ وجاما (γ) = ١,٥٦٠- ١,٧٠. قرينة الانكسار المزدوج (δ)= ٠,٠٠٦ والزاوية البصرية ($2V$)=٢٤-٥٠°.

يظهر التحليل الحرارى للكاولينيت نتوئين ماصين للحرارة في مدى حراري يتراوح مابين ١٠٠-١٥٠°م و٥٥٠-٧٠٠°م نتيجة خروج الماء

الممتص علي أسطح الحبيبات ونتيجة خروج جزيئات الهيدروكسيل المتصلة بطبقة ثمانيات الأوجه بترتيب خروجهما. ويظهر نتوء طارد للحرارة في المدى الحرارى ٩٥٠-١٠٢٠°م نتيجة إعادة تبلور (α-Al_2O_3) أو تكوين الموليت Mullite (دويلليت ونكولاس ١٩٦٩ Douillet and Nicolas وتودور Todor ١٩٧٦). تتوقف درجة حرارة هذه التفاعلات الحرارية علي حجم الحبيبات ودرجة تبلور المعدن، فتقل درجة الحرارة كلما قل الحجم وكلما قلت درجة التبلور.



شكل ٦-٣٥: الصورة اليمنى بالميكروسكوب الإلكترونى (SEM) توضح الهيئة الليفية للهالوسيت. الصورة اليسرى أكثر تكبيراً (TEM) وتوضح هيئة الأنابيب للهالوسيت.

التواجدات والصحبة المعدنية

تتكون مجموعة معادن الكاولينيت أساساً بواسطة المحاليل الحرمائية التي تعمل على تجوية معادن الفلسبار والفلسباثويد والمسكوفيت ومعادن سيليكاتية أخرى. يتم ذلك في ظروف الضغط والحرارة المنخفضة. ويتم تحول الفلسبار البوتاسي إلي الكاولينيت بتجوية شديدة للفلسبار حيث ينزع البوتاسيوم والسيليكا بالمحاليل طبقا للمعادلة التالية:

$$2KAlSi_3O_8 + H_2O \rightarrow Al_2Si_2O_5(OH)_4 + 4SiO_2 + 2K(OH)$$



فإذا كان إنتقال البوتاسيوم محدود لقلة صرف المياه، فعندئذ يتكون معدن الإليت وتشير الشواهد الحقلية إلي أن الكاولينيت إما أن يتكون بتجوية الصخور

النارية الحامضية (الجرانيت، الريوليت، السيانيت،...إلخ) فى مواقعها ويسمى بالكاولين الأولى أو يتكون بعمليات التجوية والنقل والترسيب ويسمى بالكاولين الثانوي الذى غالباً مايكّون طبقات أو عدسات فى التتابع الرسوبى. ومن المعادن المصاحبة: الكوارتز وأكاسيد الحديد والبيريت والسيدريت والمسكوفيت والمعادن الطينية الأخرى.

الاستخدامات

للكاولين خصائص فيزيائية وكيميائية تجعله يتفوق علي المعادن الأخرى مثل الكالسيت والتلك في صناعة الورق. من هذه الخصائص: ١- درجة البياض ٢- حجم الحبيبات ٣- شكل الحبيبات ٤- خلوه من الحبيبات الخشنة ٥- درجة اللمعان ٦- قابليته للطباعة Printability ٧- لزوجته مناسبة ٨- ثابت كيميائياً ولايتفاعل مع الكيماويات، لذا فالكاولين أكثر المعادن إستهلاكاً في صناعة الورق كمادة مالئة وأيضاً كمادة غطاء Coating.

إذا زادت نسبة أكاسيد الحديد أو السيليكا في الكاولين فإنه لا يصلح لصناعة الورق ويدخل فى صناعات أخرى مثل صناعة السيراميك والمطاط والبلاستيك. بالإضافة إلي استعمالة بكميات قليلة في صناعات مختلفة مثل صناعة الأسمنت الأبيض. تستخدم الطفلة الكروية (البولكلاى) في صناعة البورسالين والبلاط وتستعمل الطفلة الحرارية في صناعة الحراريات (براسد وأخرون Prasad et al.١٩٩١) .

يتواجد في مصر أنواع مختلفة من الكاولين في عدة أماكن (سيناء – الصحراء الشرقية – أسوان). يوجد الكاولين في هضبة التيه في سيناء (٢٥كم شمال شرق منطقة أبو زنيمة) ويبلغ الأحتياطى في هذه المنطقة حوالى ١٠٠ مليون طن). يوجد الخام في منطقة كلابشة بجنوب أسوان ويقدر الاحتياطى بـ ١٦,٤ مليون طن. كما يوجد فى منطقة أبو الدرج غرب خليج السويس بكمية ودرجة جودة أقل من النوعين السابقين. كما توجد أنواع أخرى من الطفلات الحرارية مثل طفلة البولكلاى في خور أبو

صبيرة والطفلة الأسوانلى فى منطقة أبو الرايش شمال شرق أسوان (غبريال ٢٠٠٤). يوجد الكاولين في المملكة العربية السعودية بكميات إقتصادية في منطقة شرق الخرج خاصة خشم راضى وبالقرب من بريده (المساحة الجيولوجية السعودية ٢٠٠٦). كما يتواجد فى جبل شهبة والزبيرة ودرب سعد.

مجموعة الإليت Illite Group

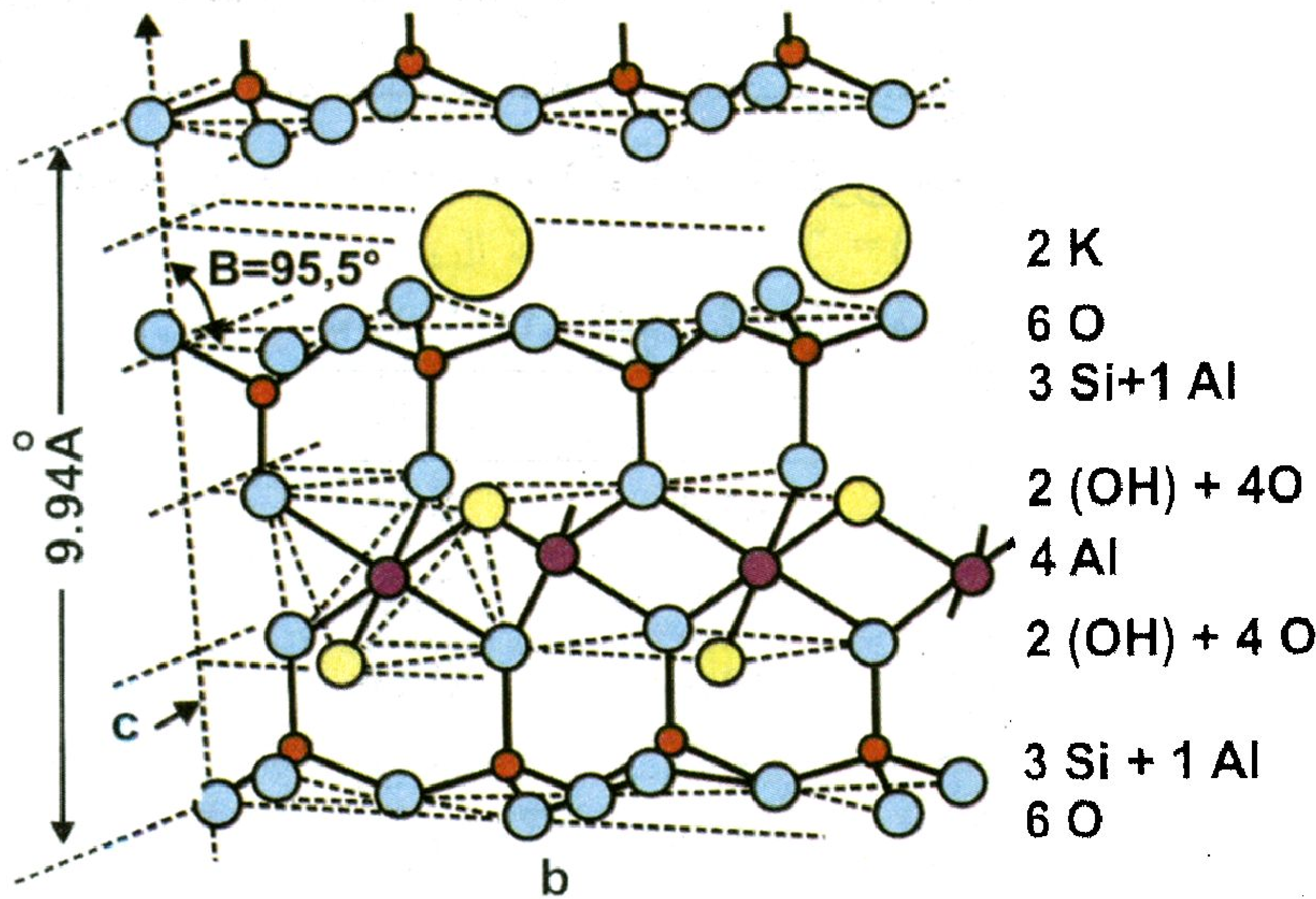


$K_{1-1.5}Al_4(Si_{7-6.5}Al_{1-1.5}O_{20})(OH)_4$

تضم هذه المجموعة عدة معادن طينية شبيهة بالميكا، ولكن تختلف عنها في قلة إحلال الألومنيوم محل السيليكون وإحتوائها على جزيئات ماء أكثر وأيضاً بوجود الكالسيوم والماغنسيوم كإحلالات مكان جزء من البوتاسيوم. وتضم هذه المجموعة كل من الإليت والميكا المائية والجلوكونيت والفينجيت والبراماليت والسيلادونيت. ويعتبر البراماليت Brammallite أقل معادن الإليت انتشاراً ويمثل الصوديوم فيه الكاتيونات البينية.

البنية البلورية

يتبلور الإليت في فصيلة الميل الواحد. مجموعة النقطة 2/m والمجموعة الفراغية *C*2/m وتبلغ أبعاد خلية الوحدة :أ= ٥,٢، ب= ٩,٠، ج (المسافة البينية المتكررة) =٩,٩٤ أنجستروم (شكل ٦-٣٦). ويبلغ ماتمتلكه خلية الوحدة من ذرات (Z) = ١. يشبه البناء البلورى للإليت البناء البلورى للميكا حيث يتكون من طبقة من الكاتيونات ثمانية التناسق محاطة كالسندوتش بطبقتين من رباعيات الأوجه $(Si,Al)O_4$ المتجه للداخل (شكل ٦-٣٦). ومعظم معادن الإليت ثنائي الثماني مثل معدن المسكوفيت والبعض ثلاثي الثماني مثل البيوتيت. ويختلف الإليت عن المسكوفيت بإحتوائه على كاتيونات بينية أقل لذلك فالروابط بين الطبقات أضعف. تحتوى معادن الإليت أيضاً على كمية ضئيلة جداً من الماء بين الطبقات كما لا يُخترق بناءها البلوري بالمواد العضوية. لا تتأثر المسافة البينية إذا سُخن المعدن لدرجة ٥٠٠°م. لا يُظهر معدن الإليت الخالي من الهالوسيت والمونتموريللونيت والفيرميكيوليت أى درجة من الإنتفاش عندما يعالج بالجليكول.



شكل ٦-٣٦ : البنية البلورية للإليت

كيميائية المعدن

الفينجيت أكثر معادن الإليت إحتواءاً على البوتاسيوم. يطلق على هذه النوعية أحياناً سيريسيت. والسيريسيت يوصف بالميكا البيضاء دقيقة الحبيبات. يمنع وجود قدر كافي من البوتاسيوم بين الطبقات دخول الماء أو السوائل العضوية أو الكاتيونات فى البناء البلوري للإليت (جدول ٦-١٢). لذلك يتميز الإليت بأقل درجة من تبادل الكاتيونات والتبادل الذي يحدث غالباً عند الحواف البلورية مثل ما يحدث في معدن الكاولينيت وقدرة تبادل الكاتيونات في الإليت تتراوح مابين ١٠ الى ٤٠ مول مكافئ/١٠٠ جرام وهى أعلى من الكاولينيت وأقل من قدرة كل من الهالوسيت والمونتموريللونيت والفيرميكيوليت. توجد معادن الإليت في التربة غالباً على هيئة متحللة تتسم بنقص في البوتاسيوم وهى قابلة لإمتصاصه مرة أخرى من الأسمدة.

تشير منحنيات التحليل الحراري للإليت إلى وجود ثلاث نتوءات ماصة للحرارة، الأولى عند درجة حرارة ١٠٠-٢٠٠°م والتي تمثل خروج الماء الممتص أو غير المتبلور والثانية عند درجة حرارة ٥٥٠-٦٥٠°م والتي

تمثــل نزع مجموعات الهيدروكسيــل والأخيرة عند درجة حــرارة ٨٥٠- ٩٥٠ °م وتمثل تشوه للبناء البلوري المتبقي. يتبع ذلك نتوء طارد للحــرارة عند درجة حرارة ٩٠٠-١٠٠٠ °م نتيجة تكون معدن السبينل.

جدول ٦-١٢: التحليل الكيميائي لمعدن الإليت

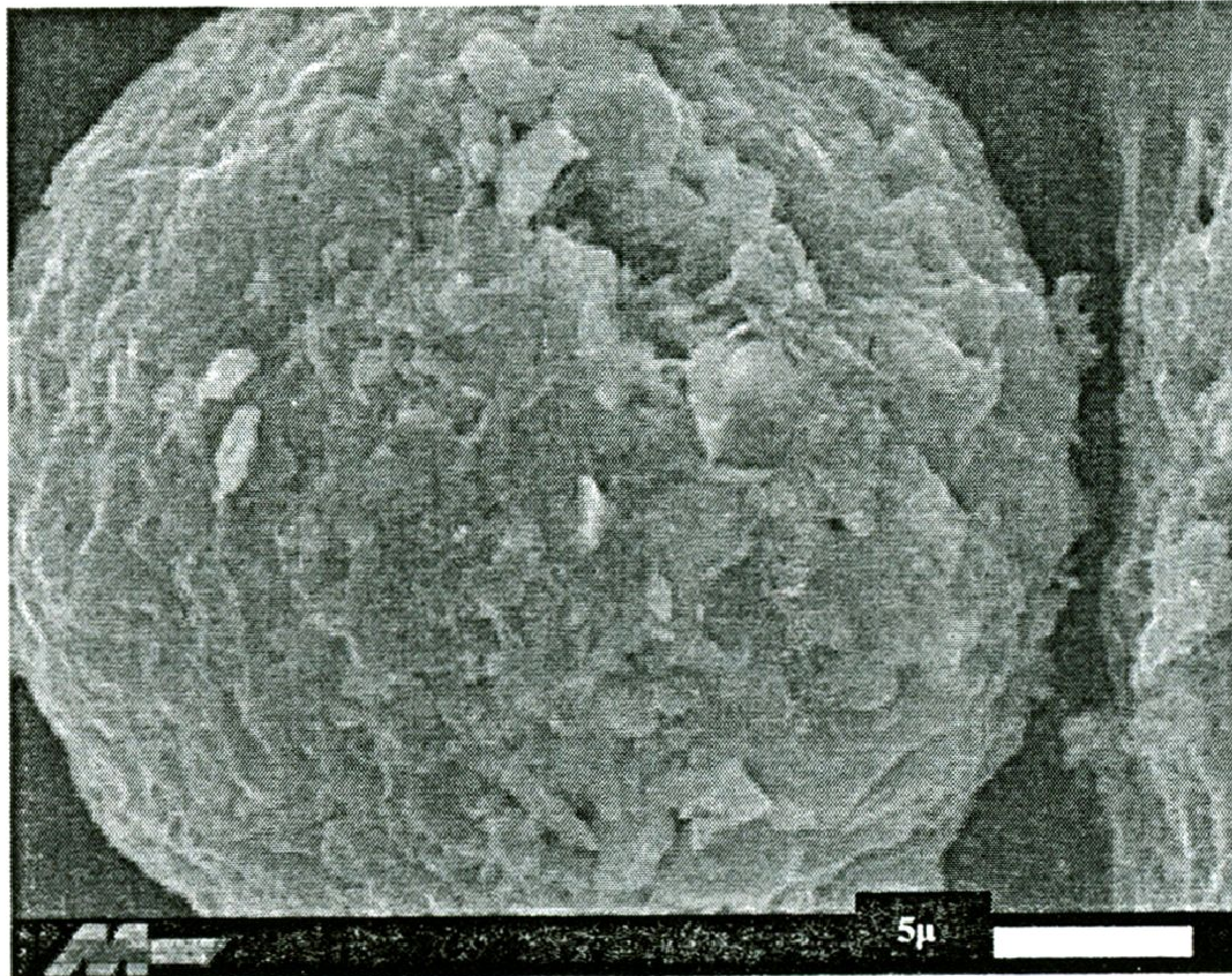
الأكسيد	١	٢
SiO_2	٥٦,٩١	٥١,٢٦
TiO_2	٠,٨١	٠,٠٥
Al_2O_3	١٨,٥٠	٣٠,١٥
Fe_2O_3	٤,٩٩	٢,٣٦
FeO	٠,٢٦	٠,٥٩
MnO	—	٠,٠٤
MgO	٢,٠٧	١,٣٧
CaO	١,٥٩	٠,٠٠
Na_2O	٠,٤٣	٠,١٣
K_2O	٥,١٠	٧,٧٧
H_2O^+	٥,٩٨	٦,٢٨
H_2O^-	٢,٨٦	٠,٠٠
المجموع	٩٩,٥٠	١٠٠

١- الإليت – فيثيان – ألينوس (كير وأخرون ١٩٥٠).
٢- قشور من الإليت على جرانيت متحلل- بولاتر أبيردنشير- (ماكنزي وأخرون ١٩٤٩).

الصفات الفيزيائية والبصرية

المعدن النقي أبيض اللون لكن وجود الشوائب يُكسب المعدن ألوان عديدة، مثل اللون الاصفر من أكاسيد أو هيدروكسيدات الحديد ومن الألوان الأخرى الأخضر والبني. والإليت عديم اللون في القطاعات الرقيقة وبريقــه ترابــي والمخدش أبيض. الصلادة = ١- ٢ والانفصام قاعدي كامل {001} والوزن النوعي =٢,٦ – ٢,٩. يعطى المعدن مدى واسع في معــاملات الانكــسار

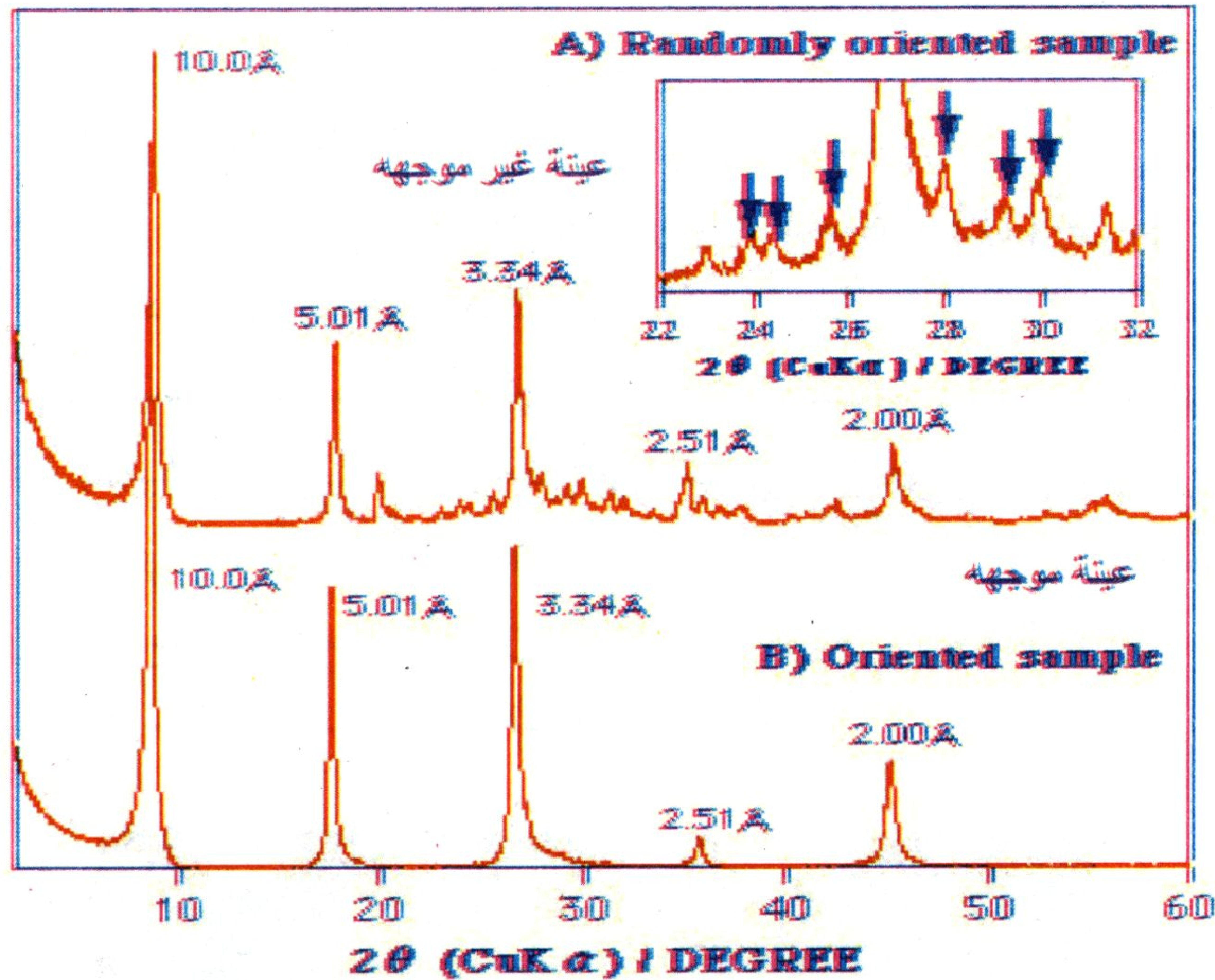
وذلك بسبب عمليات الإحلال ودرجة التميؤ والتداخل مع معـادن أخـرى. وعادة تزداد معاملات الانكسار بزيادة نسبة الحديد، وهى كالأتي ألفـا (α)= ١,٥٤ -١,٥٧ وبيتـا (β)= ١,٥٧ - ١,٦١ وجامـا (γ) = ١,٥٧ -١,٦١. قرينة الانكسار المزدوج (δ)= ٠,٠٣ والزاوية البصرية ($2V$) أقل من ١٠°. لا يمكن التعرف على المعدن باستخدام الطرق البصرية وذلك لصغر حجـم الحبيبات. ولإتمام ذلك يجب إجراء عمل متكامل يـشمل تحليـل كيميـائي ودراسات بالميكروسكوب الالكتروني أو المسبار الالكتروني (شكل ٦-٣٧) وتحليل حراري وتحليل الحيود بالأشعة السينية للعينات قبل وبعد معالجتهـا بالجليكول والتسخين. يمتاز المعدن بإنعكاسات قوية للأشعة الـسينية عنـد المسافات ١٠ ، ٥,٠١ أنجستروم (شكل ٦-٣٨).



شكل ٦-٣٧: صورة بالمسبار الإلكتروني توضح صفائح من معدن الإليت.
http://www.eytonsearth.org/clay-chemistry.php

التواجدات والصحبة المعدنية

يتكون الإليت بالترسيب وتجوية المعادن السيليكاتية كالفلسبارات، لكن في بعض الأحيان يتكون بعمليات تحوّر للمعادن الطينية الأخرى. وقـد يتكـون الإليت من تحلل المسكوفيت أو إعـادة التبـلور من الرواسب الغرويـة في



شكل ٦-٣٨: نموذج حيود الأشعة السينية للإليت

الظروف المناسبة. وقد يكون أصل الإليت من التجوية بفعل المحاليل الحرمائية وغالباً مايتكون المعدن في المناطق حول الينابيع الحارة والعروق الحاملة للفلزات. تمثل معادن الإليت أغلب المعادن الطينية في الطفلة والحجر الطيني وتوجد أيضا في بعض الرواسب الأخرى مثل الحجر الجيري. تشير الدراسات المعملية إلى أن معادن الإليت الرسوبية أو الحرمائية الأصل تتكون في ظروف قلوية وفى وجود تركيزات عالية من الألومنيوم والبوتاسيوم.

المونتموريللونيت (السميكتيت) Montmorillonite (Smectite)



$(1/2\ Ca,Na)_{0.7}(Al,Mg,Fe)_4[(Si,Al)_8O_{20}](OH)_4.nH_2O$

يرجع اسم المونتموريللونيت إلى مقاطعة مونتموريللن Montmorillon بفرنسا حيث يوجد المعدن الطيني بتركيب كيميائي مشابه للبيروفيلليت عدا إحتوائه على مزيد من الماء $Al_4Si_8O_{20}(OH)_4.nH_2O$. عند حدوث تغيرات

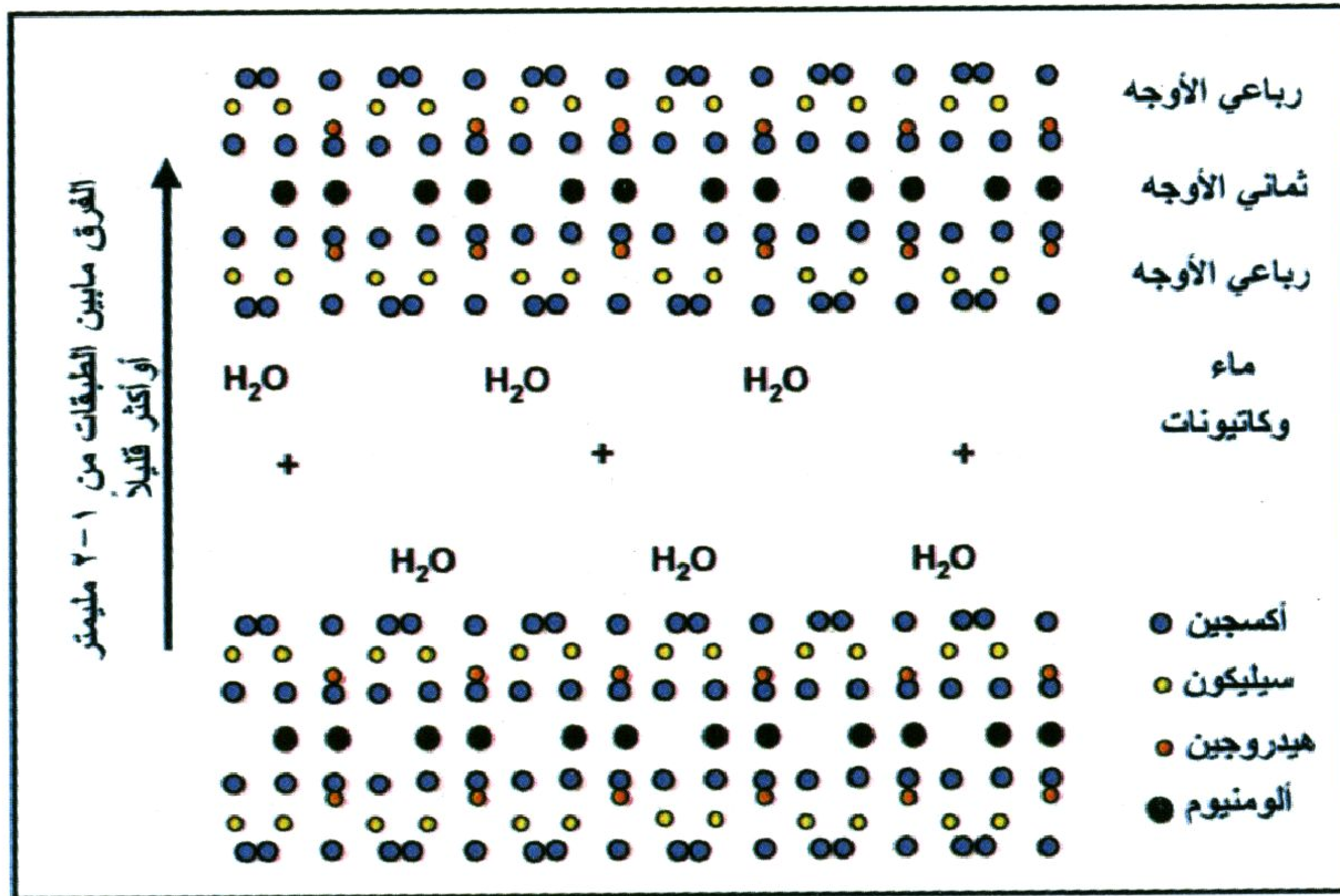
كيميائيـــة في تلك الصيغة الأساسية تتكون مجموعة من المعادن الطينيـــة تنتمي إلى بناء بلوري معين وتتميز بأن لها صفات كيميائيـــة وفيزيائيـــة متشابهـــة، تسمى بمجموعـــة المونتموريللونيت. معدن المونتموريللونيـــت هـــو أحـــد أعـــضاء هـــذه المجموعـــة ولـــه الـــصيغـــة الكيميائيـــة $(Na)_{0.7}(Al_{3.3}Mg_{0.7})Si_8O_{20}(OH)_4.nH_2O$ ويسمى أيضاً سميكتيت وهو الاسم المأخوذ لوصف المجموعة ككل (ماكينزى ١٩٥٧ Mackenzie). تحتـــوى هـــذه المجموعـــة علـــى المعـــادن الأساســـية الأتيـــة: المونتموريللونيـــت Montmorillonite والبيـــديلليت Beidellite والننترونيـــت Nontronite والصابونيت Saponite والهيكتوريت Hectorite والـــساكونيت Sauconite. المعادن الثلاثة الأولى ذات بنية بلورية من النوع ثنائي الثماني التي تـــشابه الصيغة الكيميائية والبناء البلوري للبيروفيليت. بينما الثلاث معادن الأخـــرى فهى ذات بنية بلورية من النوع ثلاثي الثماني التي تشابه الصيغة الكيميائيـــة والبناء البلوري للتلك. تمتاز جميع هذه المعادن بخاصية الإنتفاش حيث أنها قادرة على إحتواء الماء والسوائل العضوية بين صفائحها البنائية كما تتميـــز بخاصية التبادل الكاتيونى.

البنية البلورية

يتبلور المونتموريللونيت فى فصيلة الميل الواحد. مجموعة النقطـــة 2/m والمجموعة الفراغية *C2/m* .وتبلغ أبعاد خلية الوحدة أ= ٥,١٥ ، ب= ٨,٩٥، ج= ١٥,٠ أنجستروم. يشابه البناء البلوري لمعدن المونتموريللونيت مثيلـــه فى البيروفيلليت الذي يتكون من طبقات متتالية كل منها يحتوى على طبقتين من رباعيات الأوجه المتصلة والمتجهة للداخل (SiO_4)، تحصر فيما بينهمـــا طبقة من الجيبسيت $[Al_2(OH)_6]$. تُستبدل فى الجيبسيت إثنين من كل ثلاثـــة أيونات هيدروكسيل بذرات أكسجين طرفية من رباعيات الأوجـــه المكونـــة للنموذج الشبكي السداسي الكاذب (شـــكل ٦-٣٩). يحـــدث اســـتبدال فـــي البيروفيلليت لكل من أيونات السيليكون والألومنيوم لذلك فالطبقات المركبـــة متعادلة كهربائياً ولا يوجد كاتيونات بينها. أما في معادن السميكتيت فتنـــشأ شحنة نتيجة إحلال يتم في مواقع ثمانيات ورباعيات الأوجه. وتتعادل هـــذه

الشحنة بوجود عدد قليل من الكاتيونات البينية عادةً مـا تكـون صـوديوم وكالسيوم.

هذه المعادن شرهة لإمتصاص الماء بين طبقاتها البنائية فتكون طبقـات كاملة من جزيئات الماء التي تترتب بنظام معين بالنسبة للنمـوذج الـشبكي لطبقات رباعيات الأوجه المجاورة. يتأثر عدد طبقات الماء البينية إلى حدٍ ما بطبيعة الكاتيونات البينية، فالمونتموريللونيت الكالسى (الأوسع انتشاراً فـي الطبيعة) عادةً يمتلك طبقتين في الوحدة البنائية والمسافة بين الطبقات (d_{001}) حوالي ١٥,٥ أنجستروم والنوع الصودى به طبقة واحـدة مـن جزيئـات

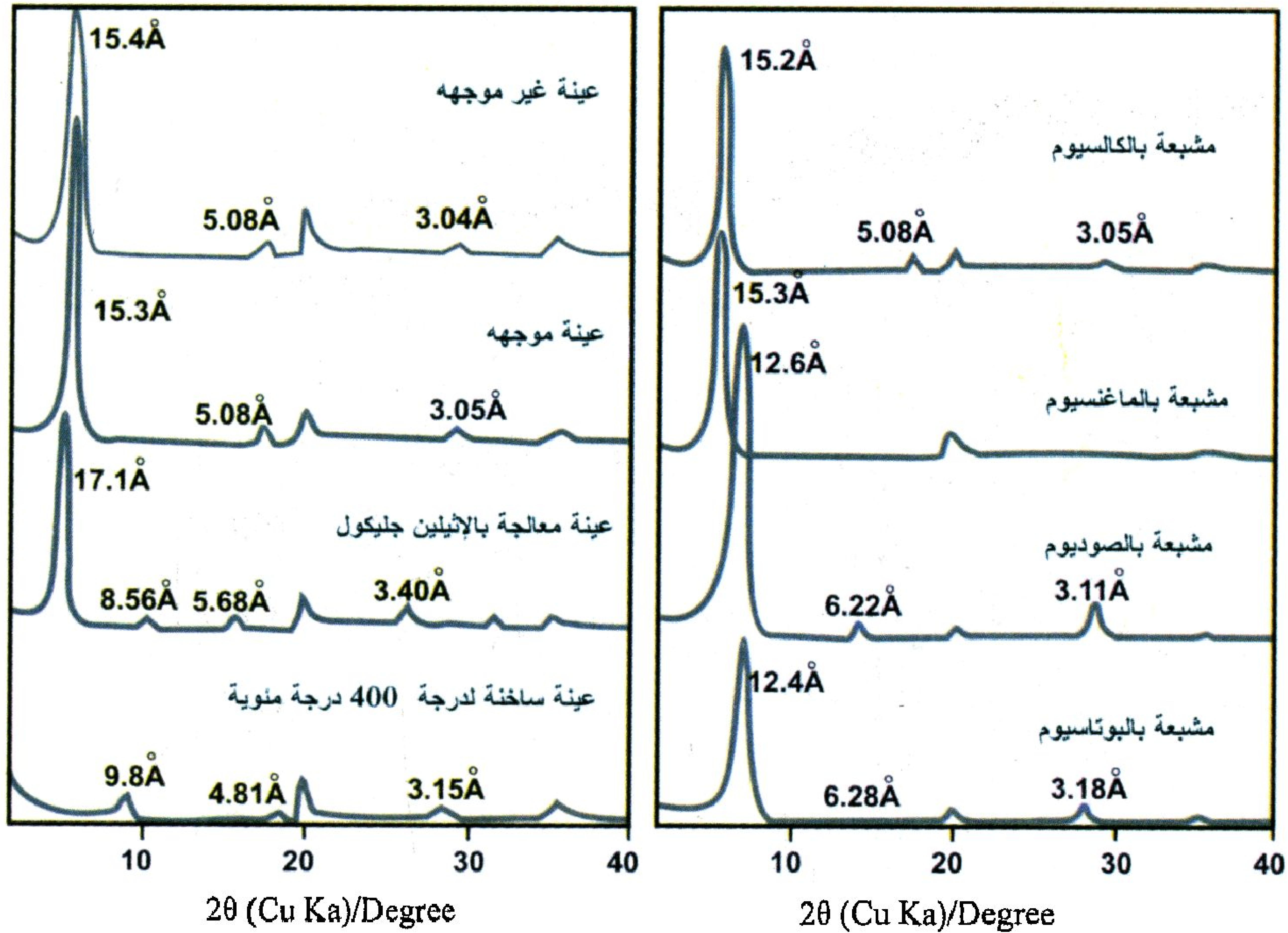


شكل ٦-٣٩: البناء البلورى للمونتموريللونيت.
http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Montmorillonite-en.svg

الماء($d_{001} \approx$ ١٢,٥ أنجستروم) أو طبقتين ($d_{001} \approx$ ١٥,٥ أنجـستروم) أو ثلاث($d_{001} \approx$ ١٩ أنجستروم) أو أكثر لكل وجدة بنائية .

يشابـه نموذج حيود الأشعة السينية لمعدنى المونتموريللونيت (شكل ٦-٤٠) والصابونيت الفاقدين للماء نموذج حيود الأشعة السينية لكل من معدنى البيروفيلليت والتلك، على الترتيب. تفقد معادن السميكتيت ماءهـا البلـوري بالتسخين لدرجة حرارة ١٠٠-٢٠٠°م وتتغير المسافة (d_{001}) مـن ١٢-١٥ أنجستروم إلى ١٠ أنجستروم وبزيادة التسخين إلى ٥٠٠°م تقل هذه المسافة

أكثر لتتراوح ما بين ١٠ الي ٩,٦ أنجستروم اعتماداً على طبيعة الكاتيونات البينية.



شكل ٦-٤٠: نموذج حيود الأشعة السينية للمونتموريللونيت

كيميائية المعدن

تشبه الصيغة الكيميائية لكل معادن المونتموريللونيت صيغة التلك أو البيروفيلليت $(1/2Ca,Na)_{0.7}(Al,Mg,Fe)_4[(Si,Al)_8O_{20}](OH)_4.nH_2O$، ولكن مع إحلال أيونات رباعيات الأوجه وثمانيات الأوجه بأيونات أقل في التكافؤ ويصاحب ذلك إضافة عدد مكافئ من الكاتيونات مابين الطبقات البنائية. يحدث الإحلال في المونتموريللونيت والهيكتوريت فى مواقع ثمانيات الأوجه، حيث يستبدل الألومنيوم بالماغنسيوم، والماغنسيوم بالليثيوم. أما فى البيدلليت والننترونيت والصابونيت يحدث الاستبدال فى مواقع رباعيات الأوجه، حيث يستبدل السيليكون بالألومنيوم (جدول ٦-١٣).

جدول ٦-١٣: نماذج من التحاليل الكيميائية لبعض معادن السميكتيت

الأكسيد	١	٢	٣	٤
SiO_2	٥١,١٤	٤٥,٨٢	٤٣,٦٢	٥٤,١٥
TiO_2	–	٠,٤٦	٠,٠٠	٠,٠٣
Al_2O_3	١٩,٧٦	٢٢,٧٩	٥,٥٠	٢٢,٠٠
Fe_2O_3	٠,٨٣	٥,٧١	٠,٦٦	٥,٥٧
FeO	–	٠,٢٨	–	–
MnO	–	–	٠,٠٦	٠,٠٢
MgO	٣,٢٢	٠,٨٦	٢٤,٣٢	٠,٤٢
CaO	١,٦٢	١,٤١	٢,٨٥	٠,٥٥
Na_2O	٠,١١	٠,١٦	٠,٠٨	٢,٠١
K_2O	٠,٠٤	٠,٠٩	٠,٠٤	٠,٩٤
H_2O^+	٧,٩٩	٩,٧٩	٥,٤٨	١٤,١٠
H_2O^-	١٤,٨١	١٢,٥٥	١٧,٤٢	–
الاجمالي	٩٩,٥٢	٩٩,٩٣	١٠٠,٠٣	٩٣,٦٩

١- مونتموريللينيت بنفسجي من الطفلة – منتوموريللن- فرنسا (روس وهندريكس ١٩٤٥)
٢- بيديلليت – فيلكاكوبان- أوكرانيا (روست ١٩٤٤)
٣- صابونيت ازرق فاتح- صخور بركانية- ألت ريبهن – اسكتلندا (ماكنزي ١٩٥٧ب)
٤- بنتونيت – منطقة الفيوم – مصر- (الوكيل وأخرون Al-Wakeel et al. in press)

يوجد في البيديلليت والننترونيت بعض الماغنسيوم في ثمانيات الأوجه لذلك يكّون كل من المونتموريللونيت- البيديلليت- الننترونيت سلسلة محاليل صلبة متصلة. من جهة أخرى، يستبدل فى الهيكتوريت الهيدروكسيل بالفلورين. وقد يوجد بعض الفلزات الإنتقالية مثل الزنك فى ثمانيات الأوجه كما فى الساكونيت. يتحكم بشكل عام كل من التبادل الأيونى ونوع الجزيئات البينية فى كيميائية المعدن:

التبادل الأيوني Ion exchange: يحدث التبادل الأيوني في معادن السميكتيت بسبب عدم إتزان شحنة الصفائح البنائية. ويحدث التبادل الأيوني أساساً لكل من الصوديوم والكالسيوم. تعتمد قدرة التبادل الأيوني Ion exchange capacity (IEC) على حجم الحبيبات وطبيعة الكاتيونات، وعادةً تقدر قدرة التبادل الأيوني في المدى من ٨٠-١٥٠ ميلى مكافئ/١٠٠ جرام.

الجزيئات البينية Interlayer molecules: تعتمد كمية الماء الممتصة في المسافات البينية على نوع السميكتيت وطبيعة الكاتيونات البينية والظروف المحيطة. يأخذ المونتموريللونيت الكلسى عادة طبقتين من جزيئات الماء في المسافة الواحدة، بينما يأخذ المونتموريللونيت الصودى كميات مختلفة ويُظهر أعلى قدر من الإنتفاش Swelling. ويسبب هذا الإنتفاش العديد من المشاكل الهندسية للأبنية والمنشأت المقامة على التربة الطفلية.

الصفات الفيزيائية والبصرية

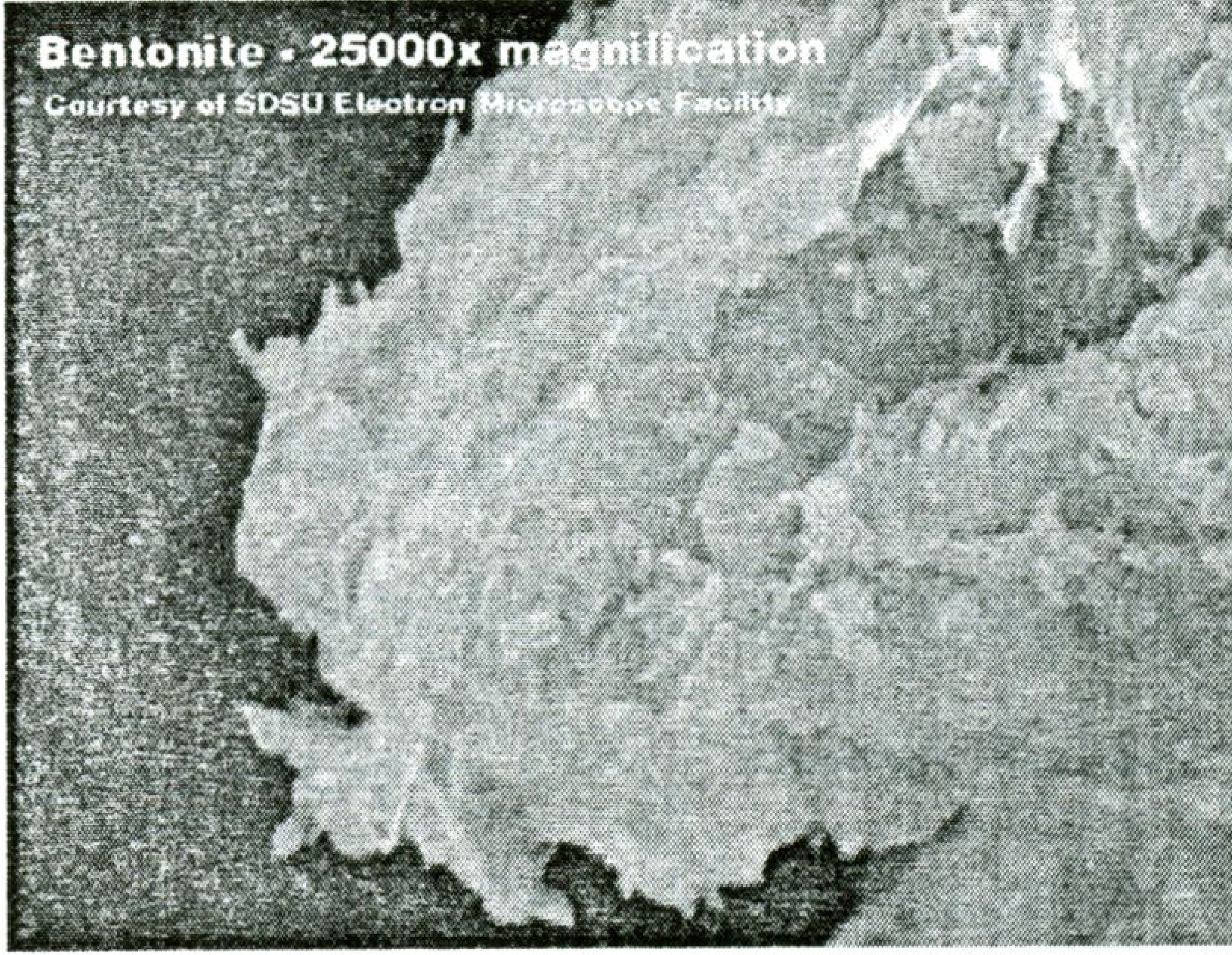
اللون غالباً أبيض، وقد يكون بنفسجي أو لحمى أو رمادي أو بنى فاتح. ويكون معدن النانترونيت فى العادة ذو لون أخضر فاتح. البريق ترابى والمخدش أبيض. الصلادة= ١-١,٥ والإنفصام قاعدى موازى للمستوى {001} والوزن النوعي =٢,٤-٢,٧ ويتأثر بوجود الماء. يوضح الميكروسكوب الإلكترونى أن معادن السميكتيت تأخذ شكل تجمعات من حبيبات دقيقة قد تكون فى شكل ديدان أو مرتبة في طبقات رقيقة أو شعاعية. تتغير الخصائص البصرية لمعادن السميكتيت نتيجة تغير التركيب الكيميائي ودرجة التميؤ. يوضح جدول (٦-١٤) متوسط المعاملات البصرية لمعادن السميكتيت. تعتمد معاملات الانكسار قليلاً على إحلال السيليكون-الألومنيوم أو الألومنيوم-الماغنسيوم. لكن تعتمد بقدر أكبر على نسبة الحديد وتزداد معاملات الانكسار بفقد الماء الموجود مابين الطبقات. جميع معادن السميكتيت سالبة بصرياً والمعادن الملونة تظهر تغير لونى ضعيف.

جدول ٦-١٤: الخصائص البصرية لمعادن السميكتيت

المعدن	ألفا (α)	جاما= بيتا (β)= (γ)	الزاوية البصرية (2V)
سلسلة المونتموريلليونيت- بيديلليت	١,٥٧-١,٤٨	١,٦-١,٥	٣٠-٠°
نونترونيت Nontronite	١,٦١-١,٥٦	١,٦٤-١,٥٧	٧٠-٢٥°
صابونيت Saponite	١,٥٣-١,٤٨	١,٥٩-١,٥	متوسطة
هيكتوريت Hectorite	١,٤٩	١,٥٢	صغيرة
ساكونيت Sauconite	١,٥٨-١,٥٥	١,٦٢-١,٥٩	صغيرة

التواجدات والصحبة المعدنية

يعتبر المونتموريللونيت والبيديلليت المكونات الأساسية لرواسب البنتونيت (شكل ٦-٤١). وتتكون هذه الرواسب بواسطة عمليات تجوية للصخور البركانية خاصة الرماد البركاني ويصاحب ذلك كميات مختلفة من الكريستوباليت والزيوليت والبيوتيت والكوارتز والفلسبار والزركون. يكّون المونتموريللونيت رواسب طينية تسمى فيللر إيرث (Fuller's earth) وهي رواسب ذات قدرة إمتصاص عالية ومعظم هذه الرواسب تكونت بتجوية الصخور النارية المافية كما فى أوروبا. يوجد السميكتيت كنواتج تجوية بفعل المحاليل الحرمائية حول الرواسب او العروق الحاملة للفلزات وبالقرب من عيون الينابيع الحارة Hot springs and geysers. ويوجد أيضاً السميكتيت بإنتشار واسع مختلطاً مع الإليت فى التربة والطفلة التي تتكون بتجوية الصخور المافية حين يكون صرف المياه قليلاً فلا ينتقل الماغنسيوم وهو العنصر الأساسى في تكوين طفلة المونتموريللونيت. في حالة وجود صرف جيد وإزالة للماغنسيوم يتكون الكاولينيت. من العوامل الأخرى المؤثرة فى تكوين السميكتيت وجود بيئة قلوية ووفرة فى الكالسيوم وقلة فى البوتاسيوم. يوجد الصابونيت أساساً مصاحباً للعروق الحرمائية وأيضا في الفجوات اللوزية في البازلت. يوجد النترونيت في كل من العروق مصاحباً للأوبال والكوارتز وكناتج تجوية الزجاج البركاني.



شكل ٦-٤١: صورة بالمسبار الإلكتروني توضح صفائح من البنتونيت. (تكبير ٢٥٠٠٠ مرة)
http://www.eytonsearth.org/clay-chemistry.php

يوجد البنتونيت في مناطق مختلفة من العالم ويتبع عصور مختلفة وبيئات تحول مختلفة. ففي مصر وباكستان حيث بيئة البحيرات واللاجون وفى الولايات المتحدة يوجد البنتونيت بكميات إقتصادية في وايومنج وتكساس حيث البيئة البحرية الضحلة. ويوجد فى كندا ونيوزلندا ويوغسلافيا حيث البيئة النهرية، وفي استراليا حيث البيئة الصحراوية. يوجد البنتونيت في العالم العربي فى عدة بلدان، ففى المملكة العربية السعودية يتواجد فى منطقة خليص شمال جدة. وفي مصر يتواجد في مناطق مختلفة منها منخفض الفيوم وجنوب العلمين ووادي النطرون بالصحراء الغربية ومنطقة عيون موسى- سدر بسيناء. يوجد في الجزائر بالقرب من موستاجانم وفى منطقة أوران (ديلابارينت ١٩٣٧ DeLapparent وسادران وأخرون Sadran et al.١٩٥٥). كما يوجد في عدة مواقع بمنطقة توريرت بالمغرب (فرى وأخرون Frey et al. ١٩٦٢).

الاستخدامات

هذه المجموعة من المعادن مفيدة مثلها مثل المعادن الطينية الأخرى في صناعة السيراميك وسوائل الحفر والمواد المالئة في صناعة الورق والمطاط والدهانات. يمتاز البنتونيت بدرجة إمتصاص عالية للزيوت والسوائل ودرجة انتفاش تصل إلى ١٨ ضعف (في حالة البنتونيت الصوديومى). يستعمل البنتونيت بكميات كبيرة في طفلة الحفر وتكوير الحديد وتقطير الزيوت وإزالة الألوان وصناعة الصابون ومواد التجميل. وتزداد أهمية البنتونيت يوماً بعد يوم في الطب وخاصة الطب البديل فيستعمل من الخارج في

إمتصاص الإشعاع وعلاج الروماتيزم ونظافة الجلد. ومن الداخل لإزالة العناصر السامة والملوثات ونظافة القناة الهضمية.

الفيرميكيوليت Vermiculite



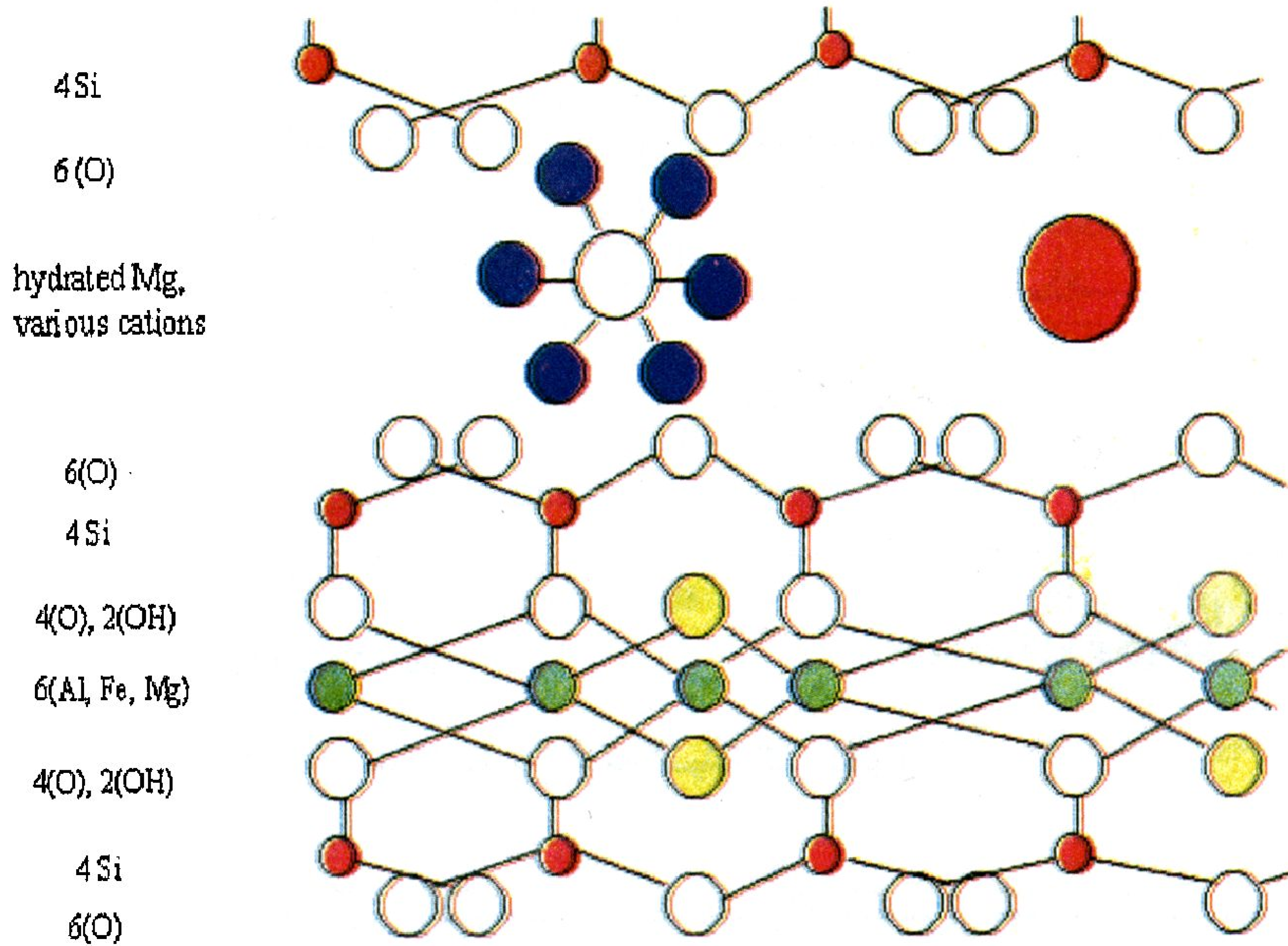
$(Mg,Ca)_{0.7}(Mg,Fe^{+3},Al)_{6.0}[(Al,Si)_8O_{20}](OH)_4.8H_2O$

يعد الفيرميكيوليت أحد معادن الميكا أو عضو ثلاثي الثماني في مجموعة المونتموريللونيت، ونظراً لصفاته الخاصة سيتم عرضه منفصلاً. يرجع اسم الفيرميكيوليت إلي خاصية المعدن حيث يأخذ شكل الديدان Verms وذلك عندما يسخن ببطئ. وعندما يسخن بسرعة ينفصل المعدن إلي صفائح خفيفة ذات خواص جيدة عازلة للحرارة والصوت.

البنية البلورية

يتبلور المعدن في فصيلة الميل الواحد. مجموعة النقطة 2/m والمجموعة الفراغية *C2/m*. تتبع البنية البلورية للفيرميكيوليت البناء ٢:١ (T-O-T) (شكل ٦-٤٢) ويشابه البنية البلورية للتلك، حيث يحتوي على طبقة وسطى تتميز بتناسق ثماني من أيونات الحديد والماغنسيوم، تقع بين طبقتين من رباعيات الأوجه المتصلة وتتجه فيها ذرات الأكسجين الطرفية إلي الداخل. يمكن إعتبار الجزء الأوسط من تلك الطبقة المركبة مكوناً من بروسيت فيه إثنين من أيونات الهيدروكسيل الثلاثة علي كل جانب وقد حل مكانهما إثنان من الأكسيجين في رباعيات الأوجه (SiO_4). تكون الطبقات في معدن التلك متعادلة كهربائياً ولا توجد كاتيونات بين الطبقات، لذلك إرتباط الطبقات ضعيف. ويوجد إختلافات أساسية فى الفيرميكيوليت تتركز فى: ١)- إحلال الألومنيوم (Al^{+3}) محل السيليكون (Si^{+4}) ويعادل فرق الشحنة بوجود كاتيونات من الماغنسيوم بين الطبقات ٢)- وجود جزيئات ماء بين الطبقات وتسمى جزيئات الماء التي لا تحيط بكاتيون الماء الحر Unbound water molecules، وتخرج هذه الجزيئات من البناء البلورى عند إرتفاع بسيط في درجة حرارة المعدن يصل إلى حوالى ١١٠ °م. المسافة القاعدية في الظروف العادية حوالي ١٤,٨ أنجستروم. مع ارتفاع أكثر في درجة

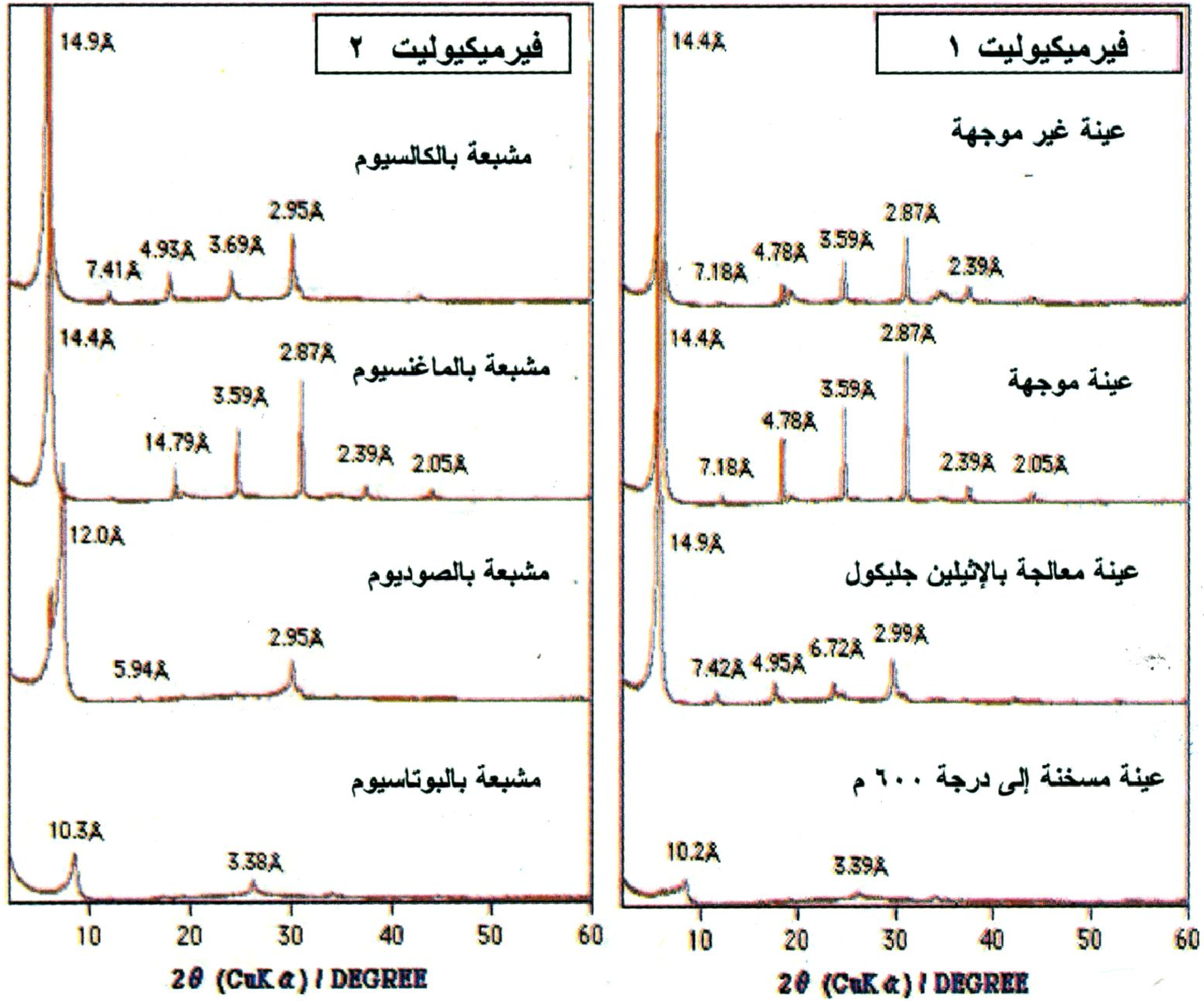
الحرارة، يحدث تغيرات متتالية في المسافة القاعدية فتقل لتصبح ١٣,٨ ثم ١١,٦ ثم ٩ أنجستروم (دير وأخرون ١٩٩٢). بينما يزداد سمك صفيحة المعدن أى يتمدد بإضافة الماء أو الجليكول لكن بدرجة أقل من المونتموريللونيت. كما أن المسافة البينية (d_{001}) تتغير بتغير نوع الكاتيونات في الفيرميكيوليت (شكل ٦-٤٣). أبعاد خلية الوحدة أ = ٥,٣ ، ب = ٩,٢ ، ج = ٢٩ أنجستروم. وتساوى زاوية (β)=٩٧°. يبلغ عدد ماتمتلكه خلية الوحدة من ذرات (Z)= ٢.



شكل ٦-٤٢: البناء البلورى للفيرميكيوليت
http://www.soils.wisc.edu/courses/SS325/vermiculite.gif

كيميائية المعدن

يشبه تركيب المعدن التركيب الكيميائي للمنتموريللونيت ثلاثي الثماني، حيث أن كل منهما يتكون من طبقات تتعادل فيها الشحنات الموجبة بوجود بعض الكاتيونات البينية. يحدث إحلال للسيليكون بأى من الألومنيوم أو الحديد أو كليهما. بينما تملئ مواقع ثمانيات الأوجه بالماغنسيوم أو الحديد



شكل ٦-٤٣: نموذج حيود الأشعة السينية للفيرميكيوليت

الثنائى، وقد يحدث إحلال بالألومنيوم والحديد الثلاثى. تتنوع الكاتيونات البينية فهناك فيرميكيوليت غنى بالماغنسيوم أو الكالسيوم أو الصوديوم أو البوتاسيوم أو الروبيديوم أو الباريوم أو الليثيوم. يوضح جدول (٦-١٥) التحليل الكيميائى لمعدن الفيرميكيوليت الماغنيسيومي من كينيا (دير وأخرون ١٩٩٢) والتركيب النموذجى للمعدن مأخوذ من الجمعية العلمية للفيرميكيوليت.

جدول ٦-١٥: التحليل الكيميائى لمعدن الفيرميكيوليت.

الأكسيد	١	٢
SiO_2	٣٤,٠٤	٣٨-٤٦
Al_2O_3	١٥,٣٧	١٠-١٦
Fe_2O_3	٨,٠١	٦- ١٣
MgO	٢٢,٥٨	١٦- ٣٥
CaO	٠,٠٠	١- ٥
Na_2O	٠,٠٠	–
K_2O	٠,٠٠	١- ٦
H_2O^+	١٩,٩٣	٨-١٦
عناصر أخرى	–	٠,٢- ١,٢
المجموع	٩٩,٩٣	١٠٠,٠٠

١- تحليل للفيرميكيوليت من كينيا (ماثيسون وواكر ١٩٥٤)

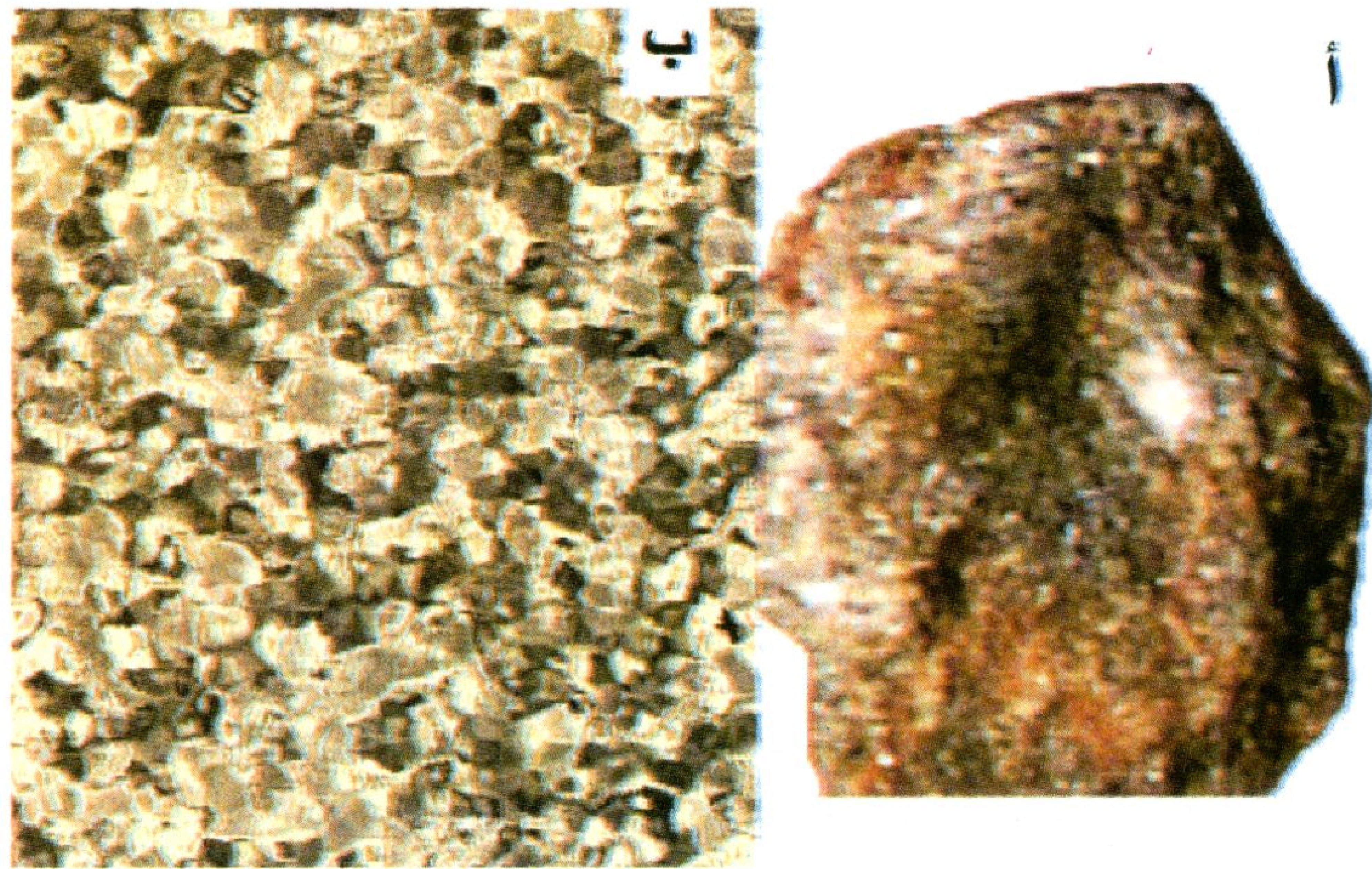
٢- التركيب النموذجى للفيرميكيوليت

http://www.vermiculite.org/properties.htm

الصفات الفيزيائية والبصرية

الفيرميكيوليت عديم اللون أو أصفر أو أخضر أو بنى وعادةً المعدن عديم اللون في المقاطع الرقيقة. تصل الصلادة إلى ١,٥ والإنفصام قاعدى كامل {001} والوزن النوعى=٢,٣. يوجد المعدن فى صورة حبيبات دقيقة الحجم في التربة بينما يوجد النوع المتكون بتجوية البيوتيت في صورة بلورات كبيرة. يظهر المعدن تغير في الخصائص البصرية نتيجة لتغير التركيب الكيميائي. المعدن ثنائى المحور سالب ويبلغ معاملات انكساره ألفا (α)= ١,٥٢٥ -١,٥٦٤ وبيتا (β) = ١,٥٤٥ - ١,٥٨٣ وجاما (γ)= ١,٥٤٥- ١,٥٨٣. قرينة الانكسار المزدوج (δ)= ٠,٠٢-٠,٠٣ والزاوية البصرية ($2V$)=٠-٨°. إذا سُخن الفيرميكيوليت ببطئ يأخذ شكل الديدان شكل (٦-٤٤). لكن إذا سخن بسرعة يحدث له تورق وينفصل إلي صفائح تعمل علي

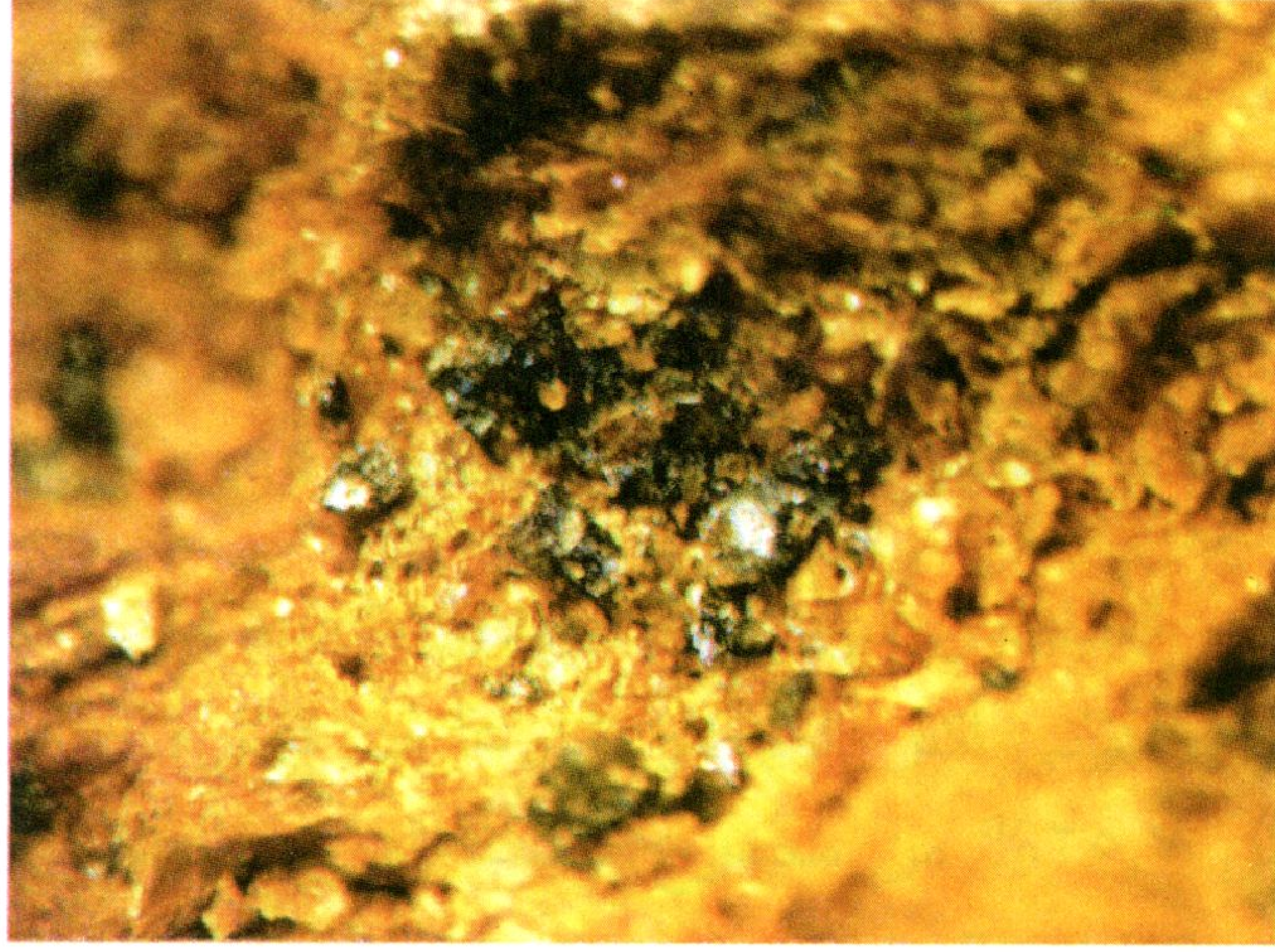
تمدد المعدن لمسافة قد تصل إلى ٣٠ ضعف في إتجاه عمودي على مستوى الإنفصام. منحنيات المعالجة الحرارية للمعدن تشير إلي وجود ثلاث نتوءات رئيسية ماصة للحرارة نتيجة خروج الماء البينى في درجة حرارة تتـراوح بين ١٠٠-٣٥٠°م، وإثنين أخرين نتيجة تشوة البناء البلورى بخروج أيونات الهيدروكسيل، يتوسطهم نتوء طارد للحرارة في المدى ٨٠٠-٩٠٠°م. يحدث النتوء الطارد للحرارة نتيجة تكون الإنستاتيت (تودور ١٩٧٦ Todor).



شكل ٦-٤٤: عينات من الفيرميكيوليت توضح أشكال الديـدان: أ-عينـة صـلبة ، ب- قطاع رقيق بين المستقطبين.

التواجدات والصحبة المعدنية

يتكون المعدن بعمليات التجوية أو بفعل المحاليل الحرمائية التي تسـبب إحلال أيونات معينة في البناء البلورى للميكا دون انهياره، عندئـذ تتكـون بلورات كبيرة ذات شكل كـاذب بعـد الميكـا. يوضـح شـكل (٦-٤٥) فيرميكيوليت متكّون بفعل عمليات التجوية مـصاحباً لمعـدن اليورانينيـت المشع. يتواجد المعدن أيضاً كمعدن طيني أساسي لأنواع معينة من التربة. ويتكون الفيرميكيوليت أيضاً في مناطق التماس بـين الإختراقـات الناريـة الحامضية والصخور القاعدية وفوق القاعديـة وقـد يـصاحب الكورانـدم والأباتيت والسربنتين والكلوريت والتلك. كما يتكون في الرواسب البحريـة



شكل ٦-٤٥: معدن اليورانينيت (الأسود) في فيرميكيوليت (البنى)
Penn-MD. Quarry by Kerry Matt, 2005

المتكونة من مواد بركانية. يصاحب المعدن صخور الكربوناتيت والحجر الجيرى المتحول. يستخرج من منطقة حفافيت بالصحراء الشرقية المصرية.

الاستخدامات

يستخدم بكميات كبيرة في الصناعات العازلة للحرارة والصوت.

الباب السابع

المعادن السيليكاتية الشبكية

Framework Silicates

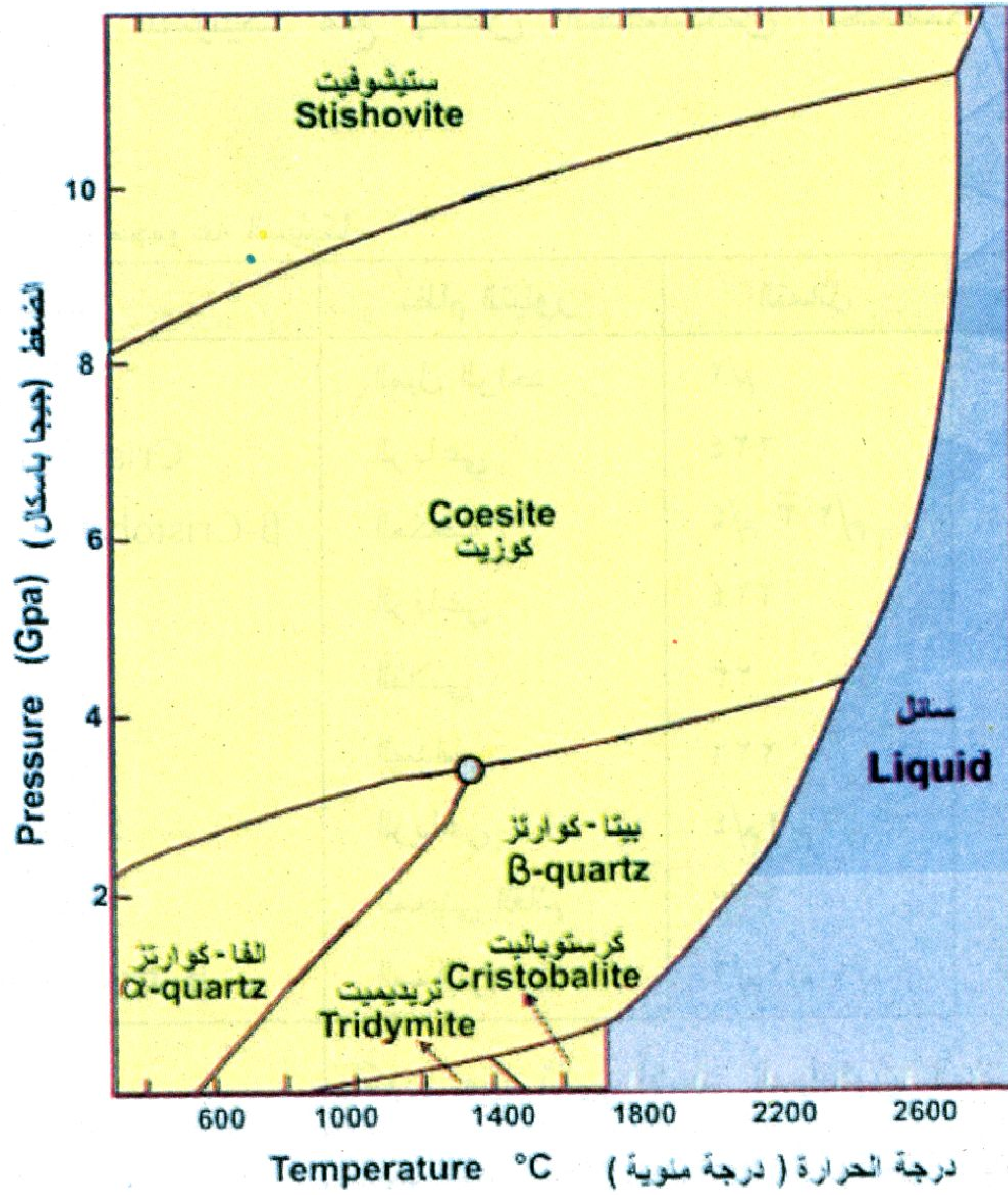
معادن مجموعة السيليكا Silica Group Minerals

يرجع اسم السيليكون إلى الكلمة اللاتينية *Silicis* والتى تعنى فلنت Flint. يعتبر السيليكون ثانى أكثر العناصر شيوعاً فى القشرة الأرضية حيث تشكل نسبته حوالى ٢٥,٧% من مجموع النسب الوزنية للعناصر المكونة للقشرة الأرضية. تم إكتشاف السيليكون فى عام ١٨٢٤ بواسطة العالم السويدى جون بيرزيليوس Jons Berzelius. تتواجد السيليكا فى حوالي تسعة أشكال ويعتمد ذلك على ظروف تكونها من حيث الضغط والحرارة. يوضح الجدول رقم (٧-١) متعددات السيليكا مع بعض الخصائص الخاصة بها على سبيل المقارنة.

جدول ٧-١: معادن مجموعة السيليكا.

اسم المعدن	نظام التبلور	التماثل	الوزن النوعي
كوزيت Coesite	الميل الواحد	٢/م	٣
كريستوباليت Cristobalite	الرباعي	٢٢٤	٢,٣٢
بيتا كريستوباليت β-Cristobalite	المكعب	٤/م $\bar{3}$ ٢/م	٢,٢
كياتيت Keatite	الرباعي	٢٢٤	٢,٥
ألفا كوارتز α-quartz	الثلاثي	٢٣	٢,٦٥
بيتا كوارتز β-quartz	السداسي	٢٢٦	٢,٥٣
ستيشوفيت Stichovite	الرباعي	٤م/٢م/٢م	٤,٢٨
تريديميت trydemite	المعينى القائم	٢٢٢	٢,٢٦
بيتا تريديميت β- trydemite	السداسي	٦م/٢م ٢/م	٢,٢٢
أوبال Opal	يتكون من ثانى أكسيد السيليكون المائى $SiO_{2\cdot n}(H_2O)$، عديم التبلور Amorphous ويتميز بصفات متغيرة، ولكن يعتبر فى بعض الأحيان من مجموعة معادن السيليكا.		

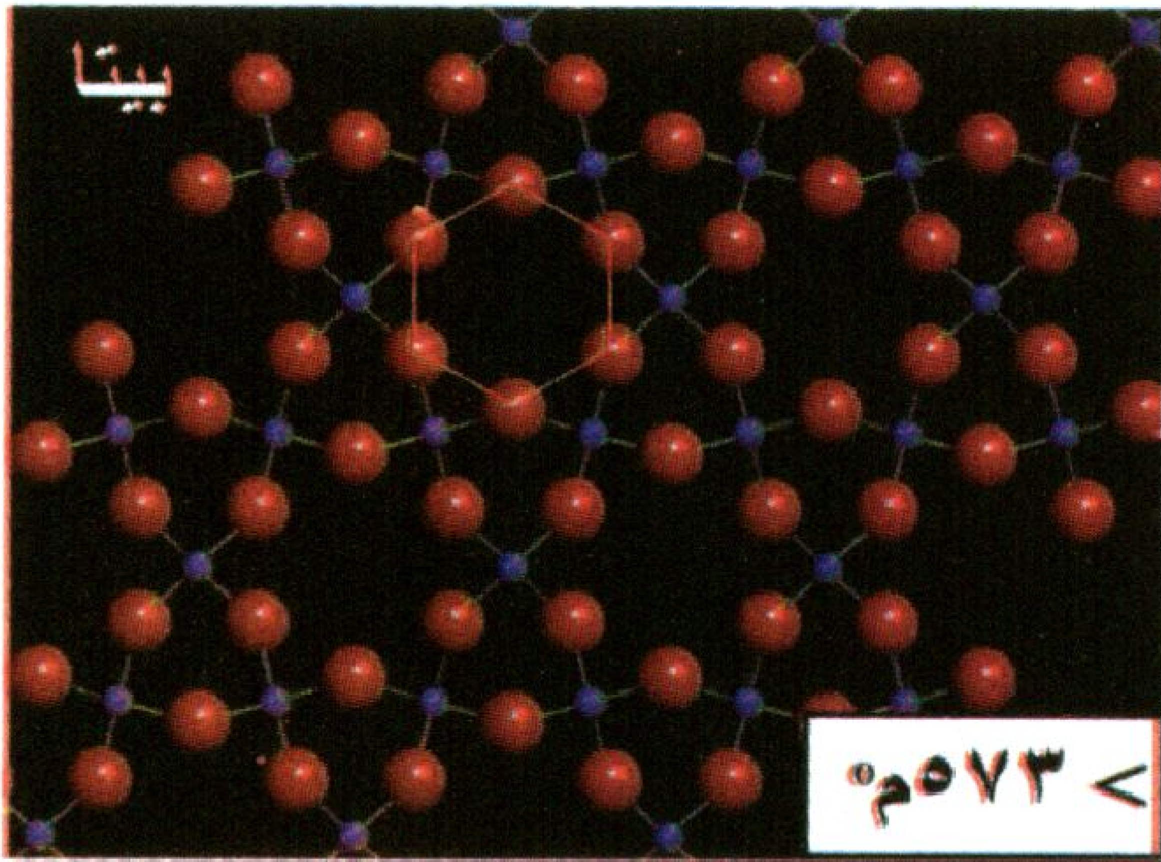
يوضح شكل (٧-١) مجالات الإستقرار لمعادن مجموعة السيليكا إعتماداً على درجات الحرارة والضغط. تفسر هذه المجالات الإختلاف بين المعادن عالية الحرارة وعالية الضغط ومعدن الكوارتز. فمثلاً نجد أن المعادن عالية الحرارة مثل الكريستوباليت والتريديميت لهما وزن نوعي ومعامل انكسار أقل مما فى حالة الكوارتز (ألفا كوارتز). ويرجع هذا الإختلاف إلى البنية البلورية لهما وبالأخص المسافات البينية للذرات والتى تزداد مع زيادة درجة الحرارة، أو بمعنى أخر مع زيادة طاقة التذبذب Vibration energy. وعلى الجانب الأخر، نجد أن المعادن عالية الضغط مثل الستيشوفيت والكوزيت لهما وزن نوعى ومعامل انكسار أعلى مما هو عليه فى حالة الكوارتز. ويرجع ذلك إلى تعرض ذرات تلك المعادن إلى ضغط مكثف مما يؤدى إلى تقارب المسافات البينية ومن ثم تكّون بنية بلورية محكمة وذات كثافة عالية.

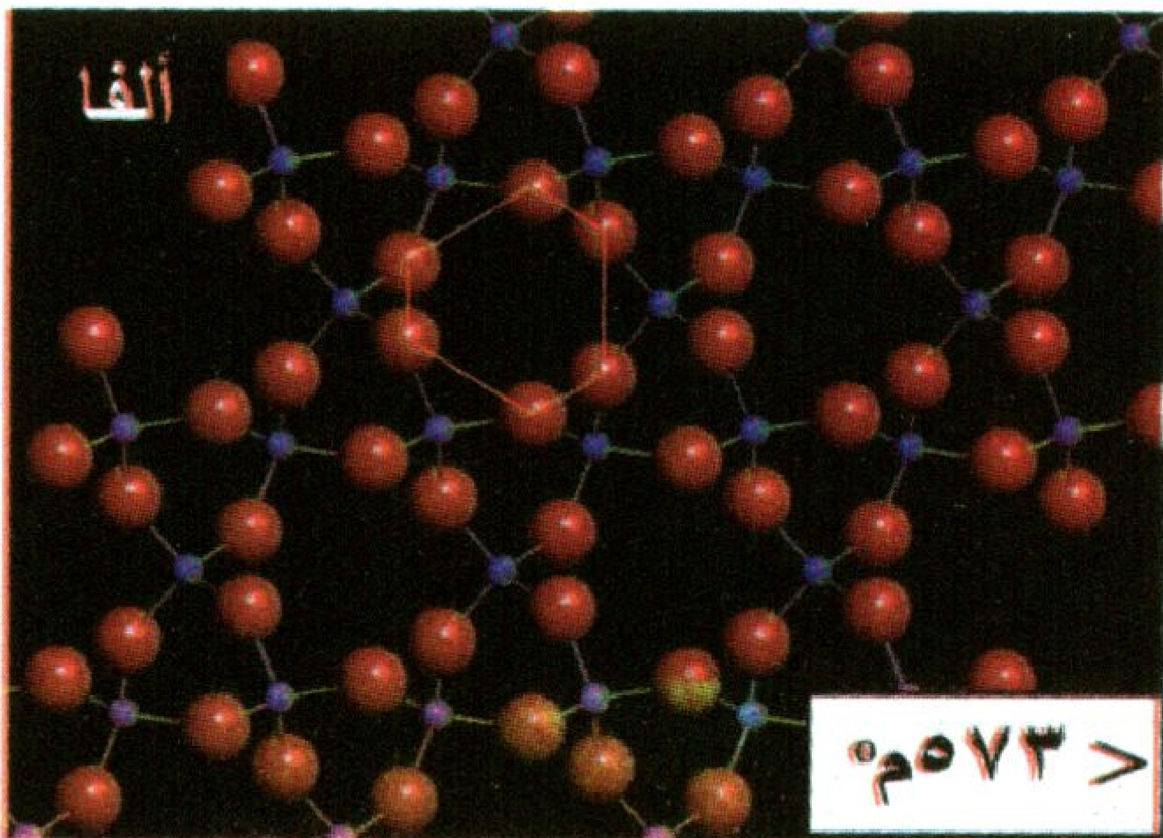


شكل ٧-١: مجالات الإستقرار لمعادن السيليكا (محور عن جرايفن ١٩٩٢ Griffen).

تلعب الروابط بين ذرات معادن السيليكا دوراً هاماً فى تغير البنية البلورية والخصائص الفيزيائية إعتماداً على التغير الحادث فى كل من الضغط والحرارة أثناء مراحل تكون هذه المعادن. تُظهر معظم متعددات أشكال السيليكا نوع من الإستقرار عند ظروف الضغط المنخفض، مثل معادن ألفا كوارتز وبيتا كوارتز والكريستوباليت والتريديميت (شكل ٧-١). فى هذه الحالة، نجد أن ذرات السيليكون تكون فى حالة تناسق مع أربع ذرات أكسجين مكونةً شبكة من رباعى الأوجه السيليكاتى SiO_4 ذات روابط قوية. وعلى الجانب الأخر، فى حالة الضغوط المرتفعة، يحدث زيادة فى عدد التناسق وبالتالى تنتج أنواع عالية الكثافة مثل الستيشوفيت. تصبح ذرات السيليكون فى هذه الحالة، فى حالة تناسق سداسى مع ستة ذرات أكسجين وتكّون شبكة من ثمانيات الأوجه SiO_6. ويعتبر كل من متعددى الأوجه السيليكاتى ذو التناسق الرباعى والسداسي وحدات بنائية أساسية فى البنية البلورية لمعادن مجموعة السيليكا.

كما يظهر تأثير درجة الحرارة بوضوح فى ظهور متعددات الأشكال للسيليكا، ففى حالة ألفا كوارتز الذى يتكون فى درجة حرارة أقل من ٥٧٣ درجة مئوية تتحرك الذرات بحيث يصبح هناك محور ثلاثى التماثل بينما يكون هذا المحور سداسى التماثل فى حالة بيتا كوارتز المتكون فى درجة حرارة أعلى من ٥٧٣ درجة مئوية مما يدل على أن الكوارتز عند الحرارة العالية يظهر تماثل أعلى بفعل زيادة الطاقة الحرارية Thermal energy (شكل ٧- ٢).





شكل ٧-٢: تأثير الحرارة على ترتيب الذرات فى الكوارتز.

الكوارتز Quartz



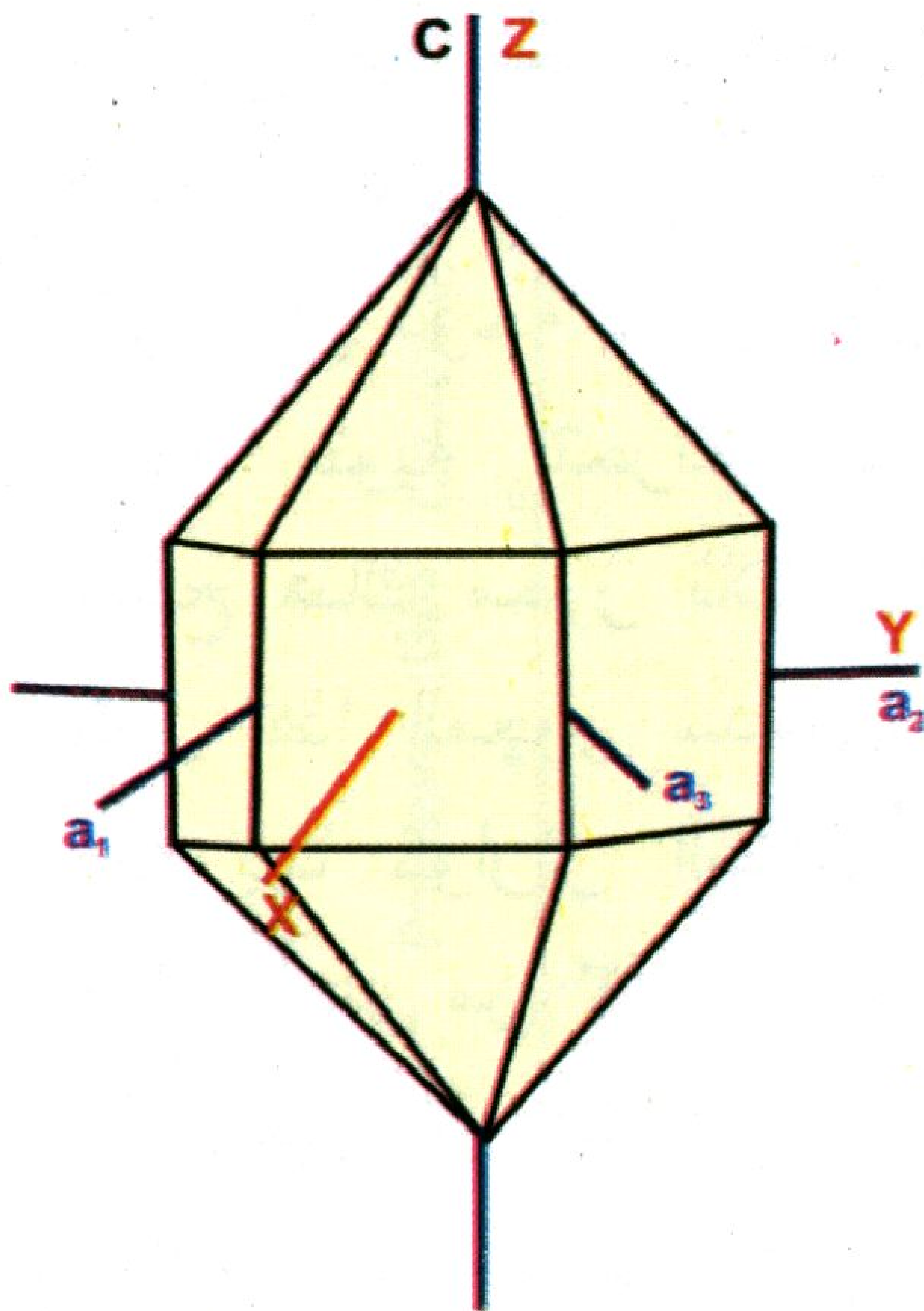
SiO_2

لا يوجد تأكيد عن أصل اسم معدن الكوارتز، ولكن ربما يأتي من الكلمة الألمانية كوارتز *Quarz* والتي تعني صلب hard. يتكون المعدن من ثانى أكسيد السيليكون ويعتبر من أكثر المعادن إنتشاراً بالقشرة الأرضية. ويتميز المعدن بمقاومته العالية لكل من عمليات التجوية الكيميائية والميكانيكية. يتواجد الكوارتز على عدة أشكال، يمكن تصنيفها حسب حجم الحبيبات إلى :

- أشكال خشنة التبلور Coarse Crystalline: مثل الكوارتز المدخن والبلور الصخرى والأميثيست Amethyst والكوارتز الوردي وعين النمر Tiger's eye.
- أشكال خفية التبلور Cryptocrystalline: مثل الكالسيدونى وكارنيليان Carnelian والأونيكس Onyx.
- أشكال حبيبية Granulat: مثل الفلنت والشيرت والجاسبر.

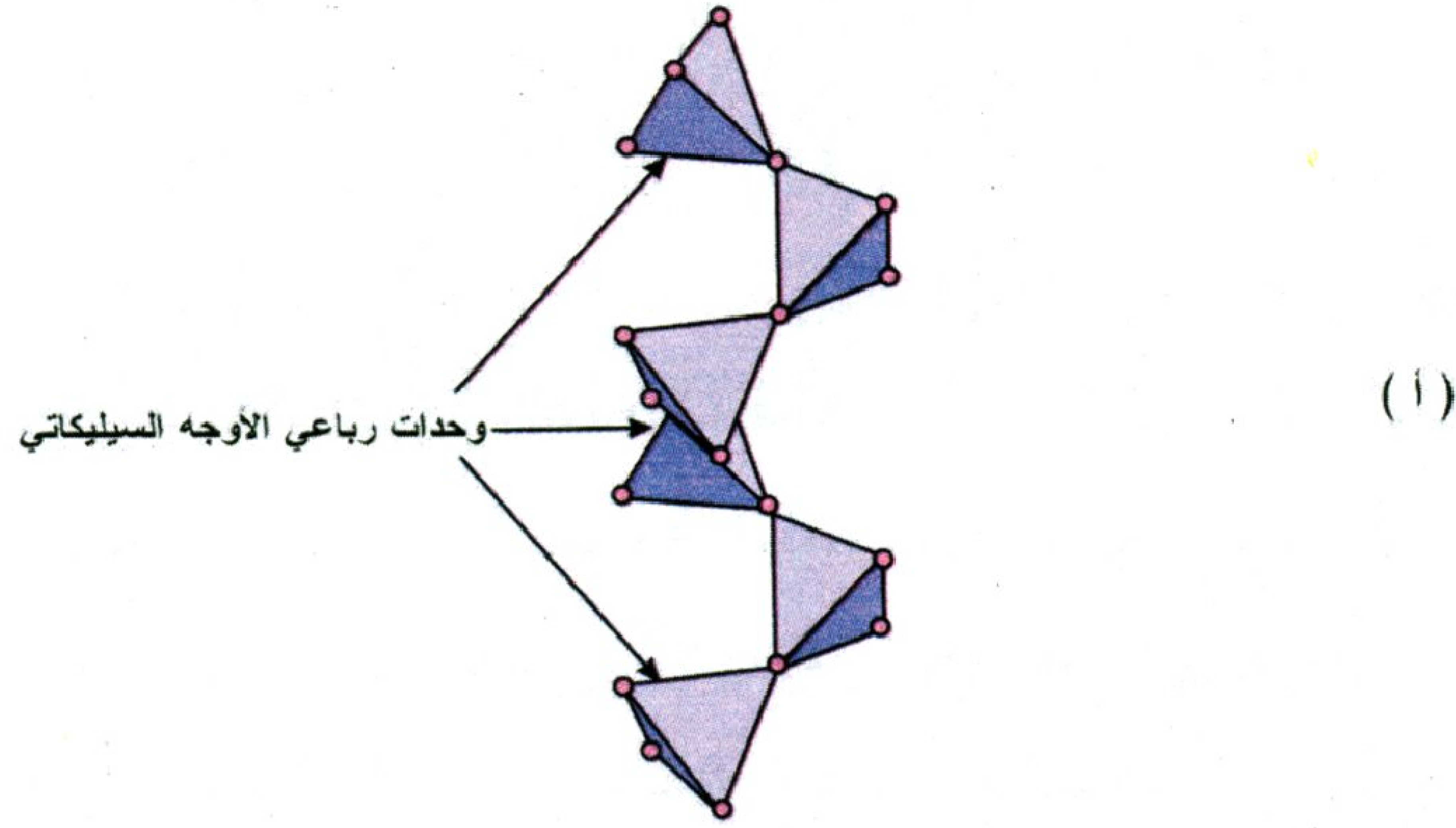
البنية البلورية

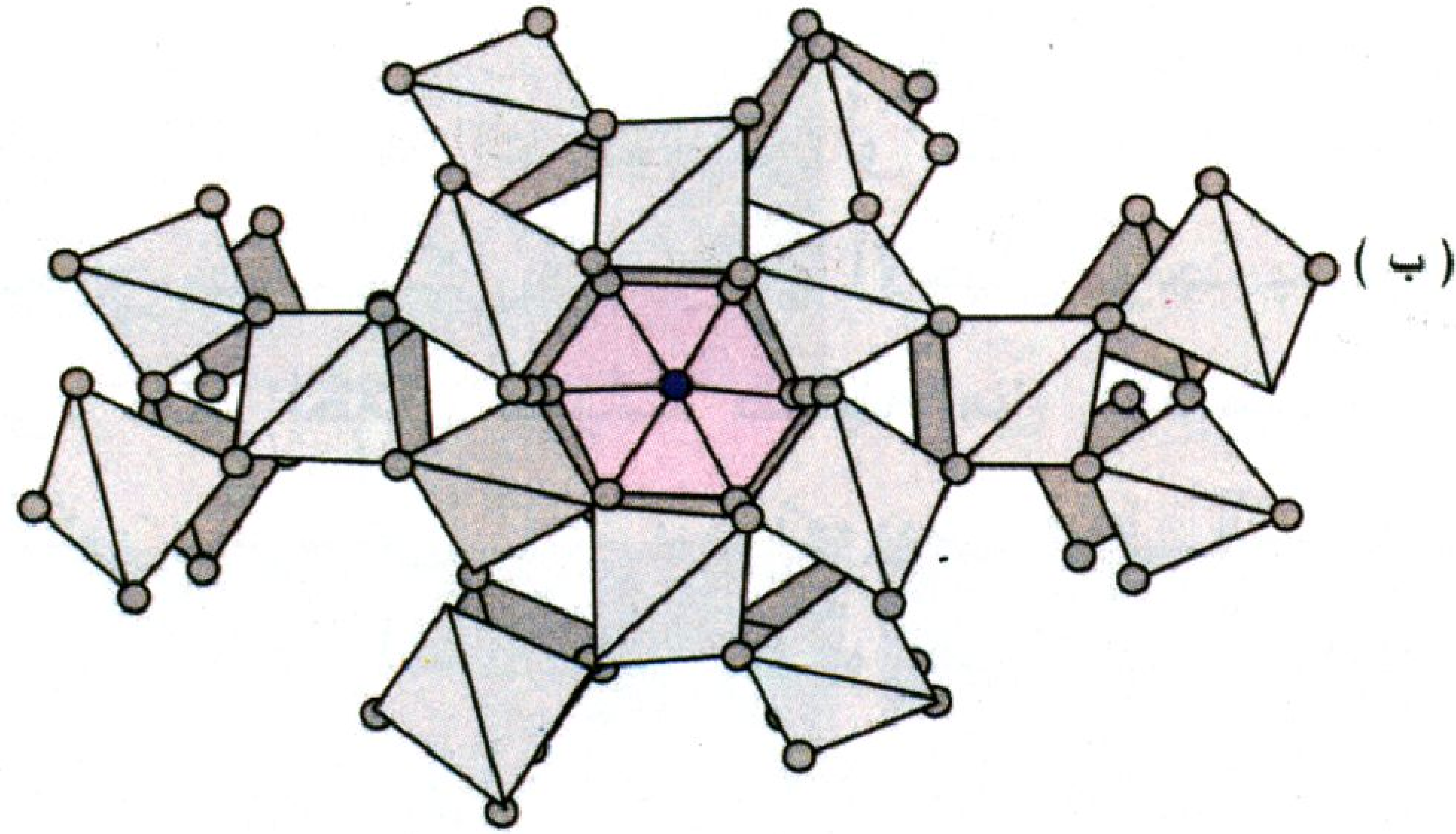
يتبلور الكوارتز في فصيلة السداسي أو الثلاثي وتبلغ أبعاد خلية الوحدة أ= ٤,٩١٤، ج= ٥,٤٠٥ أنجستروم وعدد ما تمتلكه خلية الوحدة من ذرات (Z)= ٣. يتواجد الكوارتز فى عدة هيئات بلورية ولكن أكثرها إنتشاراً هو الشكل المنشورى السداسى والمنتهي بأوجه معينى الأوجه السالب والموجب وقد تكون هذه الأوجه متساويه حتى تبدو وكأنها شكل الهرم المنعكس السداسى (شكل ٧-٣). ويكثر وجود التواءم فى بلورات الكوارتز (شكل ٧-٥أ). كما يوجد أيضاً فى الهيئة الكتلية

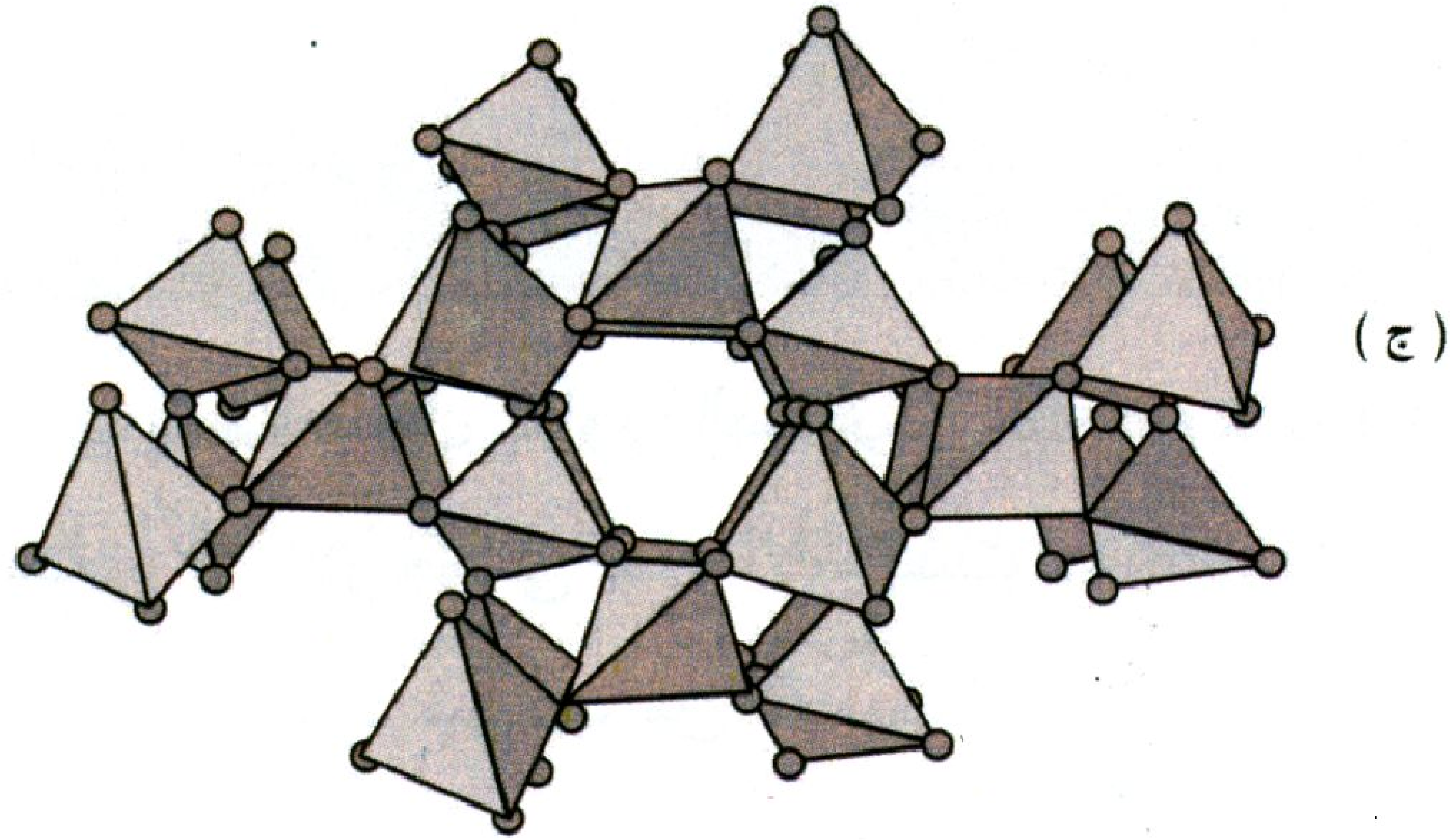


شكل ٧-٣: العلاقة بين المحاور البلورية a_1, a_2, a_3, c ومحاور مجسم معامل الإنكسار X, Y, Z فى بلورة لمعدن الكوارتز.

والعنقودية والستلاكتيكية. هناك نوعين أساسيين من الكوارتز هما: ألفا كوارتز (α-quartz) وبيتا كوارتز (β-quartz) ويتبلور ألفا كوارتز فى فصيلة الثلاثى، ويأخذ عدة أسماء أخرى منها الكوارتز المنخفض Low quartz والكوارتز العادى Quartz. بينما يتبلور بيتا كوارتز فى فصيلة السداسي.







شكل ٧-٤: (أ) سلسلة من رباعيات الأوجه السيليكاتي على شكل حلزوني. (ب) البنية البلورية للبيتا كوارتز. (ج) البنية البلورية للألفا كوارتز (نيسي ٢٠٠٠ Nesse).

يوضح الشكل رقم (٧-٤) البنية البلورية للكوارتز. وفيها تتراص رباعيات الأوجه السيليكاتي على شكل حلزوني موازى للمحور البلورى "c" (شكل ٧-٤أ). فى حالة البيتا كوارتز، فإن هذه الحلزوينات تتشابك فيما بينها لكى تكّون تماثل سداسي (شكل ٧-٤ب). مع عمليات التبريد، فإن البنية البلورية للبيتا كوارتز(تناسق عالى) تتحول إلى البنية البلورية للألفا كوارتز (تناسق منخفض) ذات التماثل الثلاثى (شكل٧-٤ج). تتم عملية التحويل بين نوعي الكوارتز بسبب حركات ذرية طفيفة إلى حدٍ ما دون حدوث تكسير بروابط السيليكون والأكسجين Si-O bond. كما تتسم هذه العملية بالسرعة والتفاعلات العكسية ويصاحبها عملية إمتصاص طفيف للطاقة. يمكن معملياً إجراء عملية التحويل بين صنفى الكوارتز بواسطة التسخين، حيث يتحول الألفا كوارتز إلى البيتا كوارتز، ويحدث العكس بالتبريد.

كيميائية المعدن

يتكون الكوارتز (نقصد به الفا كَوارتز أو الكوارتز المنخفض) غالباً من ثانى أكسيد السيليكون فقط، ولكن فى بعض الأحيان توجد بعض الشوائب من العناصر الأخرى، مثل إحلال كميات ضئيلة من الألومنيوم Al^{3+} والحديد Fe^{3+} محل السيليكون الرباعى Si^{4}. يتم تعويض فرق الشحنة بدخول نسب معينة من الصوديوم Na^{+} أو الليثيوم Li^{+} أو البوتاسيوم K^{+} أو إضافة أيون الهيدروجين H^{+} والذى يصنع رابطة مع الأكسجين لتكوين أيون الهيدروكسيل $(OH)^{-}$.

الصفات الفيزيائية والبصرية

هناك ألوان عديدة للكوارتز (شكل ٧-٥):

- عديم اللون أو الشفاف مثل البلور الصخرى Rock crystal (شكل ٧-٥أ).
- اللون البنفسجى أو الأرجوانى مثل الأميثيست Amethest (شكل ٧-٥و)، ويرجع اللون إلى وجود شوائب من الحديد.

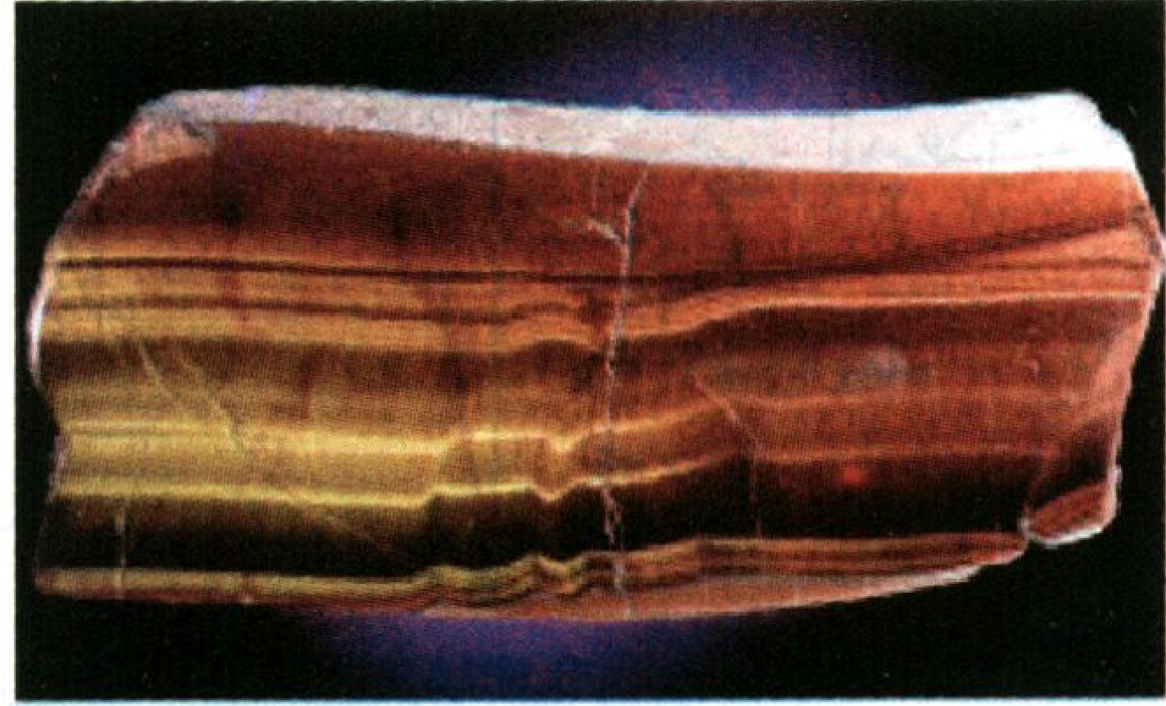
(أ)



(ب)



(ج)



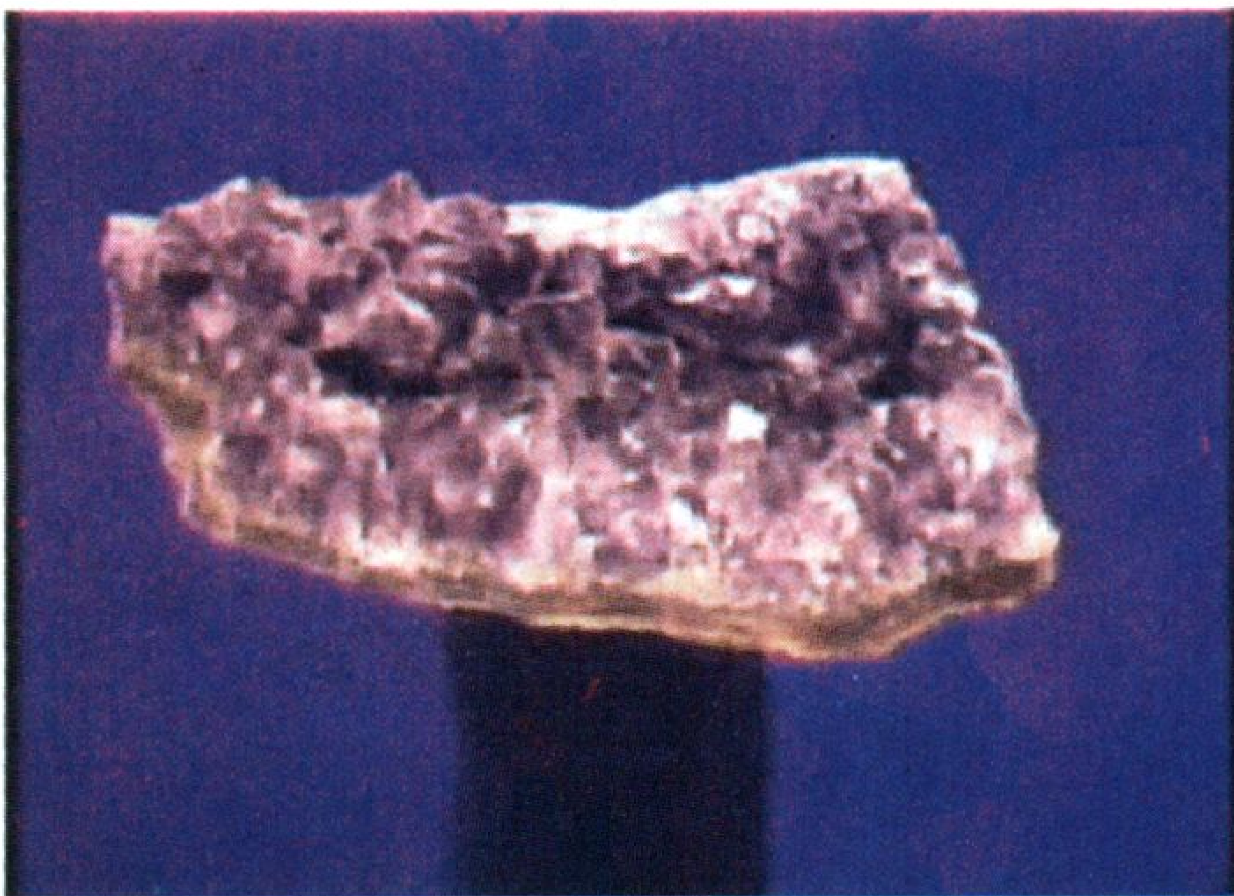
(د)



(هـ)



(و)



شكل ٧-٥: (أ) تواءم من بلورات الكوارتز عديمة اللون وشفافة. (ب) كوارتز مدخن بدرجة طفيفة مع بلورات صغيرة الحجم من الكوارتز الوردي. (ج) عـين الهـر Tiger's Eye. (د) أجيت (عقيق). (هـ) بلورة كوارتز ذات لون اسود مدخن. (و) بلورات توأمية بنفسجية اللون من الأميثيست.

- اللون الوردي مثل الكوارتز الوردي Rose quartz (شكل ٧-٥ب)، ربما يرجع هذا اللون إلى وجود مكتنفات دقيقة من معدن الديمورتيريت الوردي $(Al_{27}O_6)(BO_3)_4(SiO_4)_{12}(OH_3)$ Dumortierite أو وجود شوائب من التيتانيوم
- اللون الأبيض أو اللبني مثل الكوارتز اللبني Milky quartz والذى ينتج عن تواجد العديد من الشوائب البيضاء.
- اللون الاسود المدخن مثل الكوارتز المدخن Smoky quartz (شكل ٧-٥هـ)، ربما يرجع هذا اللون إلى عمليات الإشعاع الناتجة من وجود نسبة بسيطة من العناصر المشعة مثل اليورانيوم والثوريوم في المعدن.
- اللون الأصفر مثل السيترين Citrine، ويرجع هذا اللون إلى وجود نسبة من الحديد أو العناصر المشعة أو كلاهما معاً.
- اللون الأحمر أو البنى مثل الكوارتز الحديدى والجاسبر Jasper والكارنيليان (العقيق الأحمر).
- اللون الرمادى الغامق أو الأسود، مثل الفلنت Flint أو الشيرت Chert.
- نطاقات من الألوان أو البقع غير منتظمة اللون مثل الأجيت (عقيق) Agate (شكل ٧-٥د)، وقد تنتج هذه النطاقات من عمليات الترسيب المتلاحق مثل عين الهر Tiger's Eye (شكل ٧-٥ج).

كما يتميز الكوارتز بالبريق الزجاجي والمخدش الأبيض. البلورات شفافة إلى نصف شفافة، عادةً تكون البلورات خفية التبلور ذات بريق شمعي إلى مطفى ويمكن أيضاً أن تكون ذات بريق زجاجى. الصلادة تصل إلى ٧ ولكن تكون أقل فى حالة البلورات خفية التبلور. الإنفصام ضعيف جداً فى ثلاث إتجاهات (معينى الأوجه Rhomboheral). المكسر محاري. يصل الوزن النوعي إلى ٢,٦٥ ويكون أقل أيضاً فى حالة البلورات خفية التبلور. يظهر المعدن عديم اللون فى القطاعات الرقيقة. ألوان التداخل من الرتبة الأولى

وتتراوح من رمادي إلى أصفر شاحب، الإنطفاء متموج Undulate (wavy) extinction لايوجد إنفصام أو توأمية مرئية تحت الميكروسكوب. التضاريس منخفضة موجبة. المعدن أحادى المحور موجب ويبلغ معاملى انكسار المعدن (ω)= ١,٥٤٤، (ϵ)= ١,٥٥٣ وقرينة الانكسار المزدوج (δ)= ٠,٠٠٩.

التواجدات والصحبة المعدنية

يعتبر الكوارتز من أكثر المعادن شيوعاً فى الطبيعة، حيث يشكل المكون الأساسى للصخور النارية الفلسية مثل الجرانيت والرايولايت والبيجماتيت. ونظراً للمقاومة العالية للكوارتز لعمليات التجوية الميكانيكية والكيميائية، فإنه يتحرر من تأثير تجوية الصخور الفلسية ويتراكم على شكل رواسب رملية. وكذلك يكثر وجود المعدن بالصخور المتحولة مثل النيس والشيست وصخور الكوارتزيت، كما يتواجد المعدن على شكل عروق إثر عمليات ترسيب من المحاليل الحرمائية المشبعة بالسيليكا. عندما تتفاعل هذه المحاليل مع صخور الحجر الجيرى، فإن السيليكا تحل محل أجزاء من الحجر الجيرى وتترسب على شكل الفلنت أو الشيرت. ومن المعادن المصاحبة: الألبيت والميكروكلين والأمفيبول والتورمالين والبيريت والمسكوفيت والكالسيت والهيماتيت والبيريل.

يوجد الكوارتز منتشراً فى كثير من بلدان العالم أهمها: البرازيل وكولورادو بالولايات المتحدة الأمريكية وإسكتلندا وجبال الألب بسويسرا حيث يكثر وجود الكوارتز المدخن. ويكثر وجود الكوارتز الوردى بمناطق عديدة بالبرازيل. ويوجد السيترين الطبيعى مع رواسب الأميثيست بجبال الأورال فى روسيا وتشيكوسلوفاكيا والبرازيل. ويوجد البلور الصخرى بالبرازيل وأركنساس بالولايات المتحدة الأمريكية والعديد من المناطق بأفريقيا. أما الأجيت أو العقيق فيوجد بالبرازيل ومونتانا بأمريكا والمكسيك وألمانيا. كما تم إكتشاف الأميثيست بمناطق النجات وجبل الكريزية ومحافظة بدر بالمملكة العربية السعودية.

الاستخدامات

يستعمل الكوارتز فى صناعة الدوائر الرنينية التى تعمل على توليد موجات ذات تردد معين بالأجهزة الكهربائية مثل الراديو والتلفاز والرادار. كما يستخدم الكوارتز كمصدر للسيليكون والذي يستخدم فى العديد من التطبيقات، من أهمها صناعة شرائح السيليكون المستخدمة فى أجهزة الحاسبات. ويستخدم الكوارتز فى صناعة الساعات كما تستعمل الأنواع الملونة منه مثل الأميثيست والكوارتز الوردي والأجيت والأرنيكس وعين الهر وعين النمر كأحجار كريمة. كما يستخدم البلور الصخري فى صناعة الأجهزة البصرية. وتستعمل رمال الكوارتز فى صناعة الأسمنت والزجاج ومواد الصنفرة والطوب الزجاجي، بينما يستعمل مسحوق الكوارتز فى صناعة الخزف والطلاء وصناعات أخرى. فى حين تستخدم الأحجار الرملية والكوارتزيت فى أغراض البناء ورصف الطرق وصناعة الطوب الحرارى وصناعة السيليكون الحديدى Ferro-silicon والذى يستخدم فى صناعة الحديد والصلب السيليكاتى Silicon Steel. كما تستعمل البلورات المستديرة من الكالسيدونى فى صناعة المطاحن الكروية Ball mills والتى تستعمل فى طحن المعادن مثل الفلسبار والكالسيت والباريت. وتستعمل الحبيبات الكبيرة من الأجيت فى صناعة هاون الأجيت Agate mortar.

التريديميت **Tridymite**

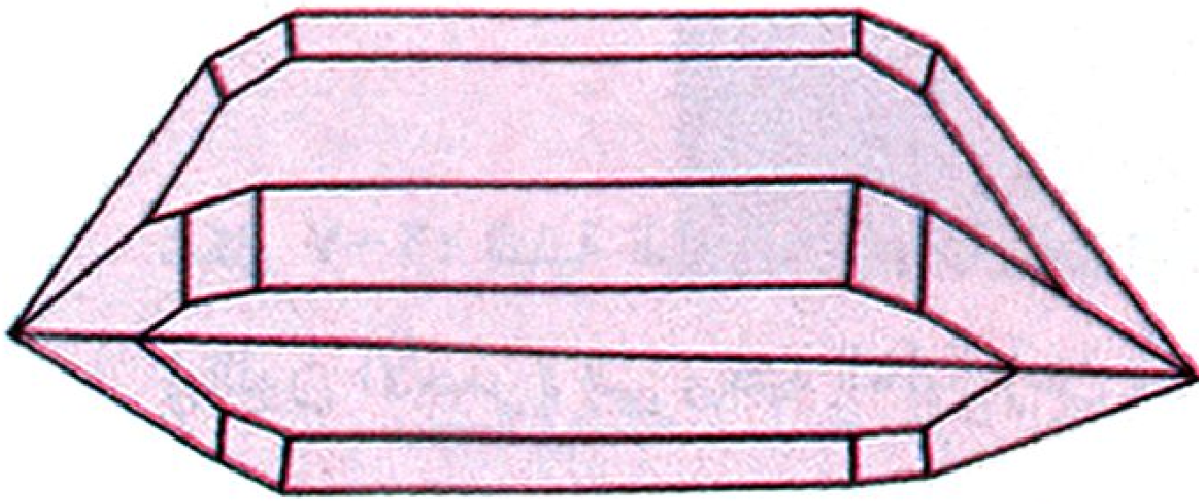


SiO_2

يرجع الاسم إلى كلمة إغريقية تعني ثلاث *threefold*، نسبةً إلى هيئته البلورية والتى تتكون من بلورات مركبة من ثلاث أجزاء. ويرجع إكتشاف هذا المعدن للعالم فوم راث Vom Rath عام ١٨٦٨ عند دراسته أشكال السيليكا بصخور الأنديزيت الأوجيتى بمنطقة باتشوكا Pachuca بالمكسيك. ويمكن تمييز التريديميت عن أنواع الكوارتز الأخرى عن طريق هيئته البلورية ومعاملي الانكسار. يوجد نوع أخر للتريديميت والذى يتكون فى ظروف الحرارة العالية ويسمى بيتا تريديميت. يُعتقد أن التريديميت يتبلور أولاً على هيئة بيتا تريديميت والمتبلور بفصيلة السداسي تحت ظروف

الحرارة العالية، ومع التبريد يتحول إلى ألفا تريديميت أو تريديميت منخفض. ويعتبر البيتا تريديميت أعلى فى درجة التماثل عن الألفا تريديميت. يحتفظ المعدن مع عملية التحول بشكله البلوري السداسي دون تغيير ولكن يحدث التحوير فى البنية الداخلية. يساعد وجود التريديميت بالصخور فى تحديد درجة حرارة التبلور التي تكّون عندها الصخر. يتبلور التريديميت عند ضغط منخفض ودرجات حرارة تتراوح بين ٨٧٠ و١٤٧٠°م (أنظر شكل ٧-١). يعتمد هذا المدى الحرارى (٦٠٠ درجة مئوية) على تغيرات الضغط ومحتوى الموائع. وبالرغم من وجود هذا المدى، إلا أن التريديميت يعتبر مقياساً جيداً لحرارة تبلور الصخور. يصبح التريديميت شبه مستقراً Metastable عند درجات الحرارة العادية، مما يعنى أنه يتحول ببطيء إلى الكوارتز عبر آلاف السنين.

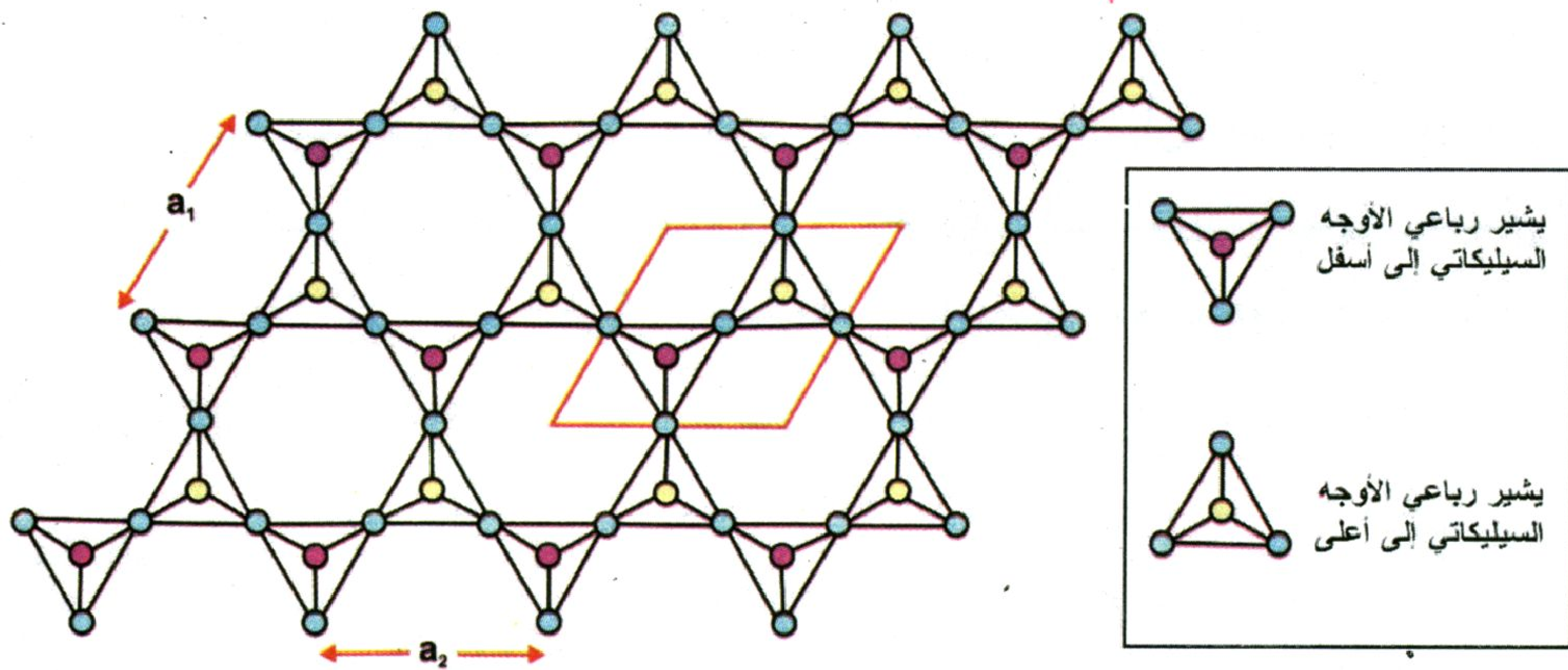
البنية البلورية



يتبلور المعدن بفصيلة المعينى القائم ويسمى ألفا تريديميت ولكنه يوجد أحياناً فى شكل سداسي كاذب مع تكّون الصنف مرتفع الحرارة والذي يسمى بيتا تريديميت والذي يتبلور بفصيلة السداسى. تبلغ أبعاد المحاور البلورية لمعدن ألفا تريدميت المعينى :أ= ٩,٨٨، ب= ١٧,١، ج= ١٦,٣ أنجستروم. مجموع ما تمتلكه خلية الوحدة من ذرات (Z)= ٦٤، مجموعة النقطة 222 والمجموعة الفراغية *P*222. البلّورات صغيرة ومفلطحة ومعظمها توأمية.

تتكون البنية البلورية للتريديميت من صفائح Sheets لرباعيات الأوجه السيليكاتى. تتكون كل صفيحة من حلقات مكونة من ستة وحدات من رباعي الأوجه السيليكاتى (شكل ٧-٦). تتبادل وحدات رباعى الأوجه مع بعضها فى الإتجاه التى تشير إليه سواء إلى أعلى أو إلى أسفل. يكون التماثل الناتج لبنية التريديميت أعلى مما هو عليه فى حالة الكوارتز. تتشابك الصفائح فيما بينها

عن طريق مشاركة ذرات الأكسجين بوحدات رباعى الأوجه السيليكاتي التى تشير لأعلى وأخرى من وحدات رباعى الأوجه السيليكاتى التى تشير لأسفل. يمتلك النوع عالي الحرارة (بيتا تريديميت) بنية ذات تماثل سداسى، ومع عمليات التبريد، يحدث تشوه فى هذه البنية وتفقد تماثلها السداسى وتتحول إلى ألفا تريديميت.



شكل ٧-٦: البنية البلورية للبيتا تريديميت خلال المحور البلوري "c". يشير متوازي الأضلاع (باللون الأحمر) إلى وحدة الخلية (عن دير وأخرون ١٩٨٩).

كيميائية المعدن

كما هو الحال فى الكوارتز، يتكون المعدن فى حالته النقية من ثانى أكسيد السيليكون ولكن تستوعب البنية البلورية للتريديميت كميات متغيرة من عناصر الصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم وذلك لإحداث نوع من الإتزان الإلكتروستاتيكى وتعويض فرق الشحنة الناتجة عن إحلال الألومنيوم الثلاثي محل السيليكون الرباعي.

الصفات الفيزيائية والبصرية

المعدن عديم اللون أو أبيض (شكل ٧-٧). البريق زجاجى والمخدش أبيض. البلورات شفافة إلى نصف شفافة. الصلادة= ٧ والإنفصام ضعيف فى ثلاث إتجاهات (منشورى). يصل الوزن النوعي إلى ٢,٢٧. تحت

الميكروسكوب، يُظهر المعدن تضاريس متوسطة سالبة. ومعدن التريديميت (نقصد به ألفا تريديميت أو التريديميت المنخفض) هو معدن ثنائي المحور موجب، وتبلغ معاملات انكساره الفا (α)= ١,٤٧٨ وبيتا (β)= ١,٤٧٩ وجاما (γ)= ١,٤٨١ وقرينة الانكسار المزدوج (δ)= ٠,٠٠٣ والزاوية البصرية ($2V$) = ٧٠°. يمكن تمييز التريديميت بقرينة الانكسار المزدوج المنخفضة ومعامل الانكسار المنخفض والتوأمية التي تكون على شكل وتد Wedge-shaped.



شكل ٧-٧: تريديميت عديم اللون (مجال الرؤية: ١,٥ x ١,٢ مـم) مـن جبال أيفيل بألمانيا (www.mindat.org/gallery.php?min=4015&st=12).

التواجدات والصحبة المعدنية

يتواجد التريديميت بالصخور النارية البركانية الحامضية والمتوسطة، كما يوجد بالصخور النارية الجوفية المتكونة عند أعماق ضحلة. ممكن أن يتواجد على شكل بلورات كبيرة Phenocrysts أو بلورات دقيقة بأرضية الصخر أو مالئ للفجوات بالصخور البركانية الفقاعية كالبازلت. من المعادن المصاحبة: الكريستوباليت والسانيدين والهورنبلند والبيتا كوارتز والأوليفين والأوجيت. ويرجع تواجده مع كل من الأوليفين والأوجيت المميز للصخور المافية إلى تبلوره داخل الفجوات بالصخور البركانية المافية الفقاعية. من أهم أماكن تواجده: منطقتي باشوكا وسيروسان كريستوبال بالمكسيك Pachuca and

Cerro San Cristobal وجبال سان جون وكاليفورنيا بالولايات المتحدة الأمريكية وفي إيطاليا.

الاستخدامات

يستخدم المعدن كمقياس حرارة بالصخور البركانية حيث يتكون عند درجة حرارة تتراوح بين ٨٧٠ و١٤٧٠°م. ومن الممكن استخدامه كمصدر للسيليكون والذى له العديد من التطبيقات (أنظر استخدامات الكوارتز).

الكريستوباليت Cristobalite

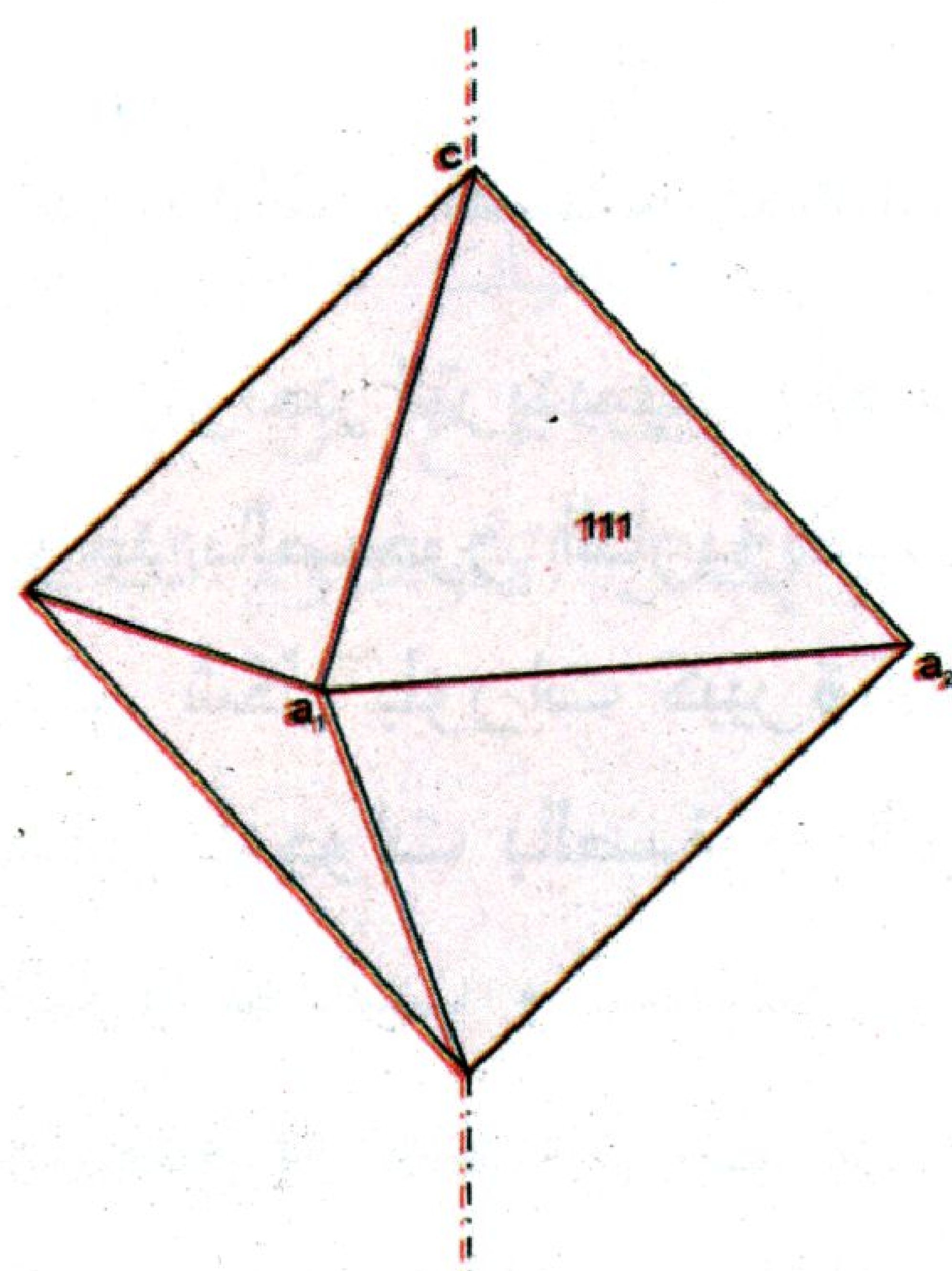


SiO_2

تم تسمية المعدن نسبةً إلى مكان إكتشافه وهو منطقة سيروسان كريستوبال بالمكسيك Cerro San Cristobal. ويرجع إكتشاف المعدن للعالم فوم راث Vom Rath عام ١٨٦٨ وذلك عند دراسته لأشكال السيليكا المختلفة بهذه المنطقة. كما هو الحال فى الكوارتز والتريديميت، يتواجد الكريستوباليت على شكلين، أحدهما فى ظروف الحرارة المنخفضة ويسمى الكريستوباليت المنخفض أو ألفا كريستوباليت أو الكريستوباليت فقط والأخر يتكون فى ظروف الحرارة المرتفعة ويسمى بيتا كريستوباليت أو الكريستوباليت العالى.

البنية البلورية

يتبلور المعدن بفصيلة الرباعي (مكعب كاذب). أما الشكل المرتفع الحرارة (بيتا كريستوباليت) فأنه يتبلور فى فصيلة المكعب. تبلغ أبعاد خلية الوحدة: أ= ٤,٩٧١، ج= ٦,٩٢٨ أنجستروم. مجموع الذرات بخلية الوحدة (Z)= ٤. تتواجد بلورات المعدن على شكل ثمانى الأوجه الكاذب (شكل ٧-



شكل ٧-٨: بلورة هرمية لمعدن الكريستوباليت المتبلور في فصيلة الرباعي.

٨)، بعضها يكون توأمى ويسمى توأم السبينيل Spinel twin. كما يتواجد على شكل شعاعى (شكل ٧-٩) أو على شكل تجمع كروى Aggregates.



شكل ٧-٩: كريستوباليت (٢ x ٣سم) من منطقة مونو كريتيرس بكاليفورنيا Mono Craters .
.(www.geo.oregonstate.edu/.../cristobalite1928.htm)

تتشابه البنية البلورية للكريستوباليت مع معدن التريديميت (أنظر شكل ٧-٦)، حيث تتكون من صفائح Sheets لرباعيات الأوجه السيليكاتية. تكّون رباعيات الأوجه بكل صفيحة حلقات من ستة وحدات. ترتبط الصفائح فيما بينها مثلما هو الحال فى معدن التريديميت. ولكن تختلف بنية الكريستوباليت فى طريقة تشابك حلقات رباعي الأوجه فى أحد الصفائح مع حلقات رباعي الأوجه بالصفيحة التى بأسفلها بحيث تتطابق رباعيات الأوجه والتى تشير لأعلى بأحد الصفائح مع مراكز الحلقات بالصفيحة التى بأسفلها. عند درجات الحرارة العالية، تكون البنية البلورية للكريستوباليت مكعبية Isometric ولكن مع التبريد إلى درجة حرارة أقل من ٢٦٨°م يحدث نوع من التشوه فى هذه البنية وتتحول إلى تماثل رباعى (الفا كريستوباليت).

كيميائية المعدن

نفس التركيب الكيميائى للتريديميت.

الصفات الفيزيائية والبصرية

المعدن عديم اللون أو أبيض. البريق زجاجي والمخدش أبيض. البلورات شفافة إلى نصف شفافة. الصلادة = ٦,٥ ولا يوجد إنفصام والمكسر محاري. الوزن النوعى =٢,٣٢. تحت الميكروسكوب، يتميز الكريستوباليت بقرينة الانكسار المزدوج المنخفضة والتضاريس السالبة المتوسطة. المعدن احادى المحور سالب، ويبلغ معاملى الانكسار (ω)= ١,٤٨٩ و (ϵ)= ١,٤٨٢ وقرينة الانكسار المزدوج (δ) = ٠,٠٠٧.

التواجدات والصحبة المعدنية

يتواجد الكريستوباليت مصاحباً لمعدن التريديميت بالصخور البركانية الحامضية والمتوسطة. يساعد التبريد السريع على عدم تحوله إلى الفا كوارتز. كما يوجد على شكل حبيبات كروية مالئة للفراغات بالصخور البركانية الفقاعية أو كمحتوى أساسي ضمن المكونات الرئيسية بالصخر. تم التعرف على الكريستوباليت بصخور النيازك، وكذلك بصخور الحجر الرملي المتأثرة بفعل الأرتفاع الحراري من جراء التحول التلامسى. يتواجد المعدن بنفس الأماكن المتواجد فيها معدن التريديميت.

الاستخدامات: مصدر للسيليكون.

مجموعة الفلسبار Feldspar Group

تتكون كلمة الفلسبار من مقطعين، كلاهما يحمل معنى مختلف، المقطع الأول وهو كلمة" فلد" وتعنى حقل، والمقطع الأخر "سبار" وتعنى سهل الإنفصام. تم إعطاء هذا الاسم عام ١٧٤٧ بواسطة العالم جوهان جوتشاك وليريوس Johan Gott Scalk Wallerius. تعتبر معادن الفلسبار من أكثر المعادن إنتشاراً في القشرة الأرضية (حوالى٦٠% من مجموع مكونات القشرة الأرضية). يطلق اسم الفلسبار على مجموعة من المعادن التى تحمل

الصيغة الكيميائية $XAl(Al,Si)_3O_8$ ، حيث X= صوديوم و/أو كالسيوم و/أو بوتاسيوم. تشتمل مجموعة معادن الفلسبار على مجموعتين رئيسيتين، هما:

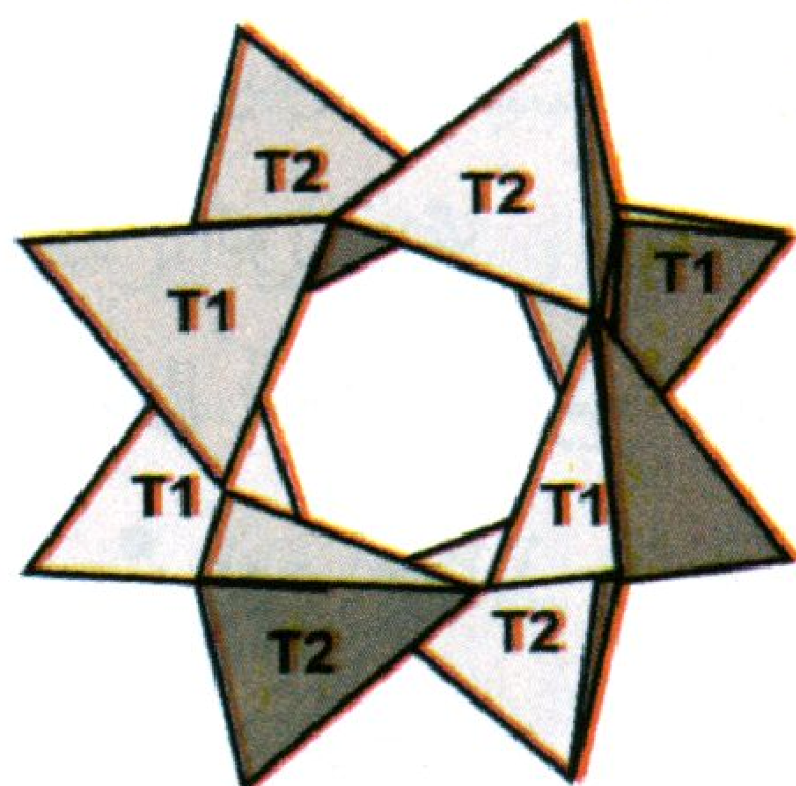
- معادن الفلسبار البوتاسي Potassium Feldspar Subgroup
  - * الأرثوكليز $KAlSi_3O_8$
  - * السانيدين $KAlSi_3O_8$
  - * الميكروكلين $KAlSi_3O_8$
  - * أديولاريا $KAlSi_3O_8$
- معادن الفلسبار البلاجيوكليزي
  - * ألبيت $NaAlSi_3O_8$
  - * أوليجوكليز $(Na,Ca)AlSi_3O_8$
  - * أنديزين $(Na,Ca)AlSi_3O_8$
  - * لابرادوريت $(Na,Ca)AlSi_3O_8$
  - * بيتونيت $(Na,Ca)AlSi_3O_8$
  - * أنورثيت $CaAl_2Si_2O_8$
- ومن المعادن الأخرى للفلسبار
  - * أنورثوكليز Anorthoclase $(K,Na)AlSi_3O_8$
  - * سيلزيان Celsian
  - * باراسيلزيان Paracelsian
  - * هايلوفان Hyalophane
  - * بيرثيت Perthite
  - * سفياتوسلافيت Svyatoslavite
  - * دمشتاينبيرجيت Dmsteinbergite
- وهناك أيضاً معادن من الفلسبار النادرة الوجود، مثل
  - * بودينجتونيت Buddingtonite $(NH_4)AlSi_3O_8$
  - * ريدميرجنيريت Reedmergnerite $NaBSi_3O_8$
  - * سلاوسونيت Slawsonite $(Sr,Ca)Al_2Si_2O_8$
  - * بانالسيت Banalsite $BaNa_2Al_4Si_4O_{16}$

* سترونالسيت Stronalsite $SrNa_2Al_4Si_4O_{16}$

* ليسيتيت Lisetite $CaNa_2Al_4Si_4O_{16}$

يمكن التمييز بين الأنواع المختلفة لمجموعة معادن الفلسبار من خلال التعرف على بنياتها البلورية وتركيبها الكيميائى. كما تساعد الدراسات البتروجرافيه إلى حدٍ ما فى التعرف على بعض أنواع معادن تلك المجموعة. تعتبر المجموعة التحتية للفلسبار البوتاسي مثال لمتعدات الأشكال، حيث أنها متشابهة فيِ التركيب الكيميائى ($KAlSi_3O_8$) ومختلفة فى بنيتها البلورية. تمثل المجموعة التحتية للفلسبار البلاجيوكليزي سلسلة من المعادن المتصلة، إحدى طرفي السلسلة غني بالصوديوم ويسمى ألبيت ويتكون تحت ظروف حرارة منخفضة بينما الطرف الأخر يسمي الأنورثيت وهو غنى بالكالسيوم ويتكون تحت ظروف درجة حرارة أعلى.

البنية البلورية

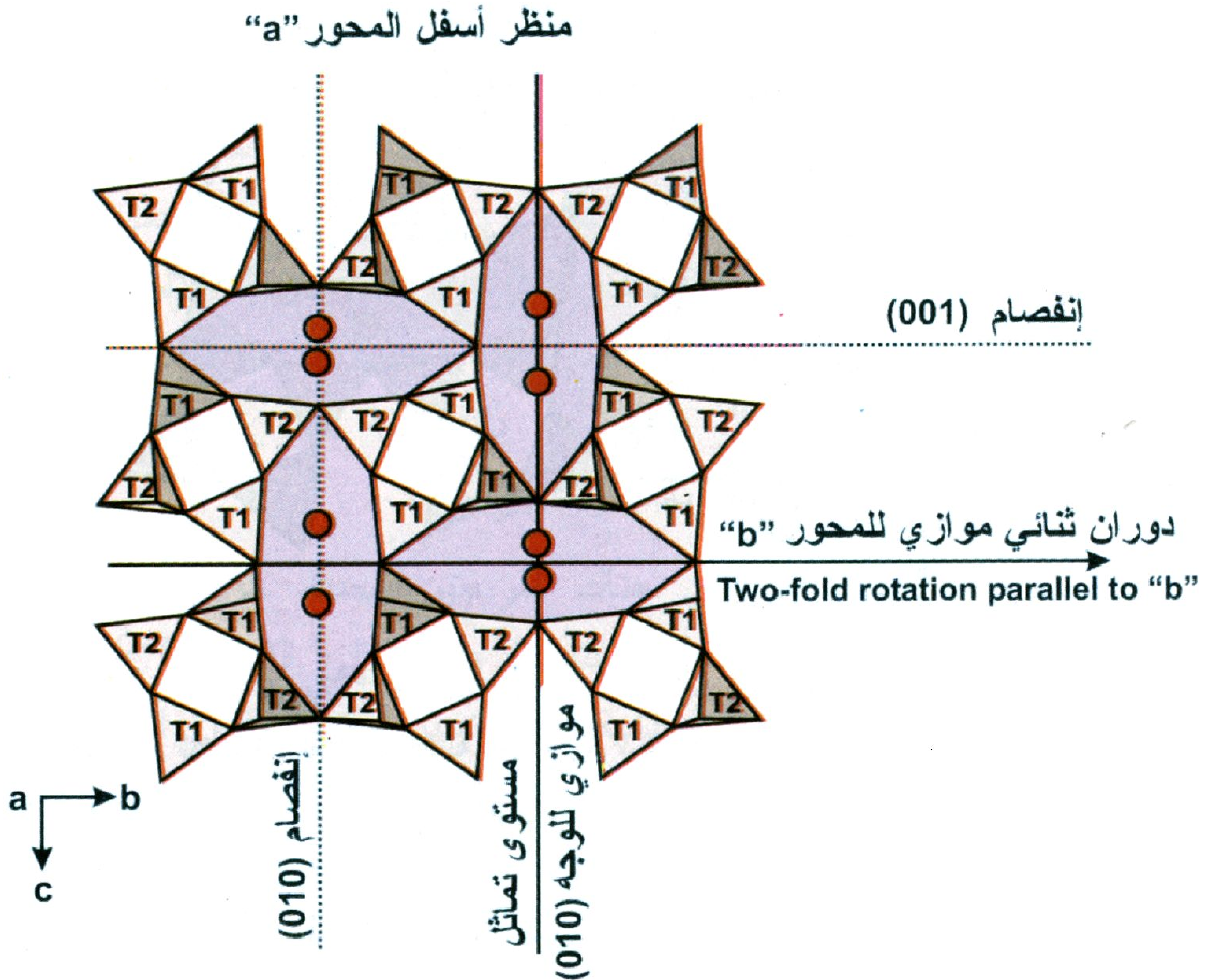


شكل ٧-١٠: الترتيب الحلقي لبنية الفلسبار.

تعتمد البنية البلورية للفلسبار على ترتيب حلقى، بحيث تشتمل كل حلقة على أربع وحدات من رباعى الأوجه (شكل ٧-١٠). تتصل هذه الحلقات مع بعضها لتكون سلسلة مزدوجة عمودية Double crankshaft . تمتلىء الفراغات البينية بتلك السلاسل بالكاتيونات الكبيرة مثل البوتاسيوم K^+ والكالسيوم Ca^{2+}.

تتبلور معادن الفلسبار فى فصيلتن بلورتين، أحادي الميل Monoclinic أو الميول الثلاثة Triclinic. يمثل السانيدين أعلى درجة تماثل بمجموعة معادن الفلسبار ويتبلور فى فصيلة الميل الواحد والمجموعة الفراغية *C2/m*. ويمكن إشتقاق البنية البلورية لبقية مجموعة معادن الفلسبار البوتاسي (درجة تماثل أقل) من السانيدين عن طريق عملية إنتقال للصنف بالإزاحة Displacive phase transition (أي ينتقل من صنف إلى أخر بتشوه الفراغات البينية بالبنية البلورية للسانيدين نتيجة تغير درجة

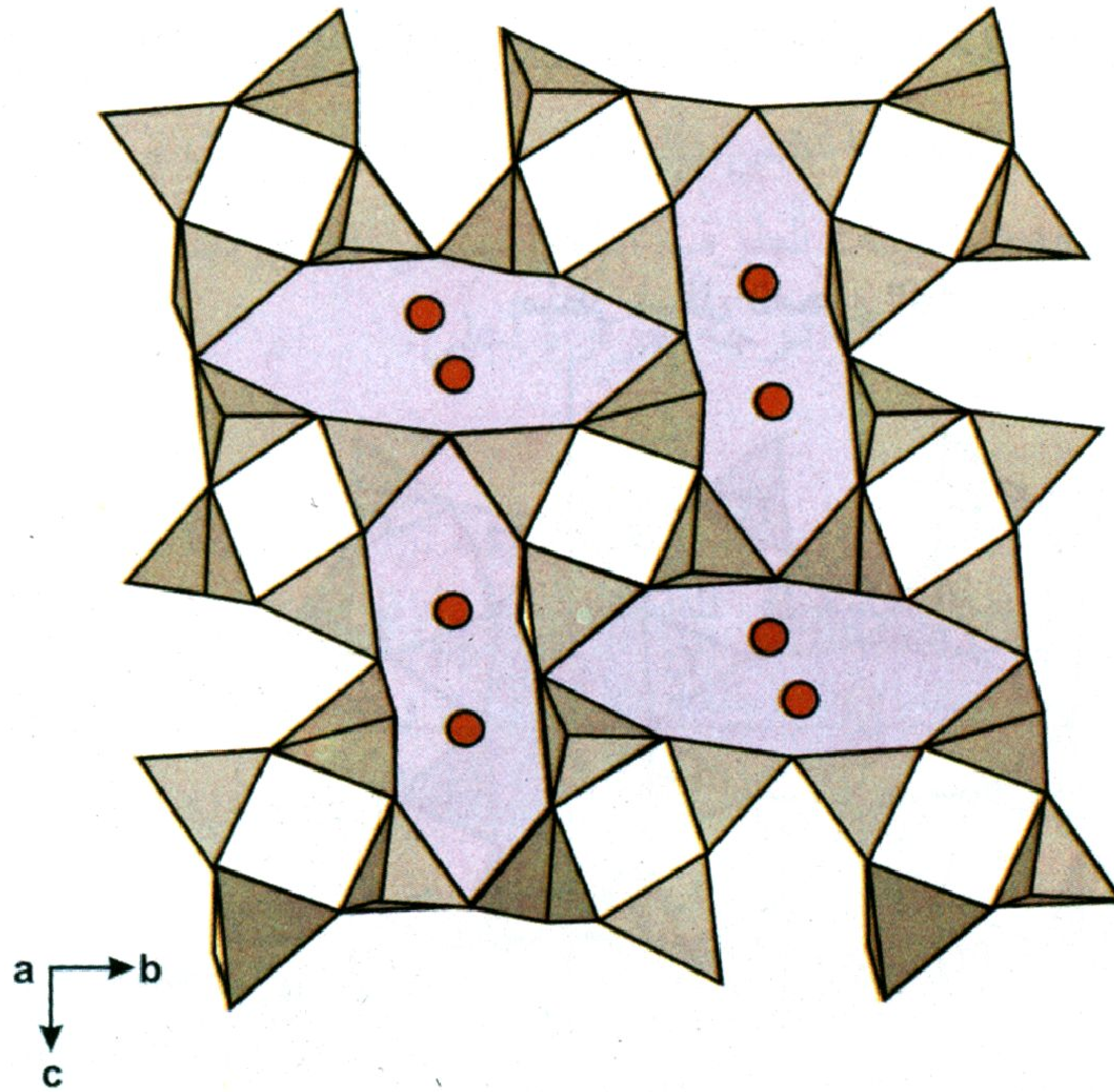
الحرارة) أو إعادة ترتيب الكاتيونات وخصوصاً الألومنيوم أو كلاهما. تقوم البنية البلورية للسانيدين على شبكية ممتدة فى ثلاث إتجاهات لوحدات رباعي الأوجه السيليكاتى SiO_4 والألومنيومى AlO_4 (شكل ٧-١١). تتصل تلك الوحدات فيما بينها عن طريق أركانها Corner-sharing. يمكن تمييز موقعين من رباعيات الأوجه بالبنية البلورية للسانيدين، هما T1 وT2. يوضح هذا الشكل حجم الفراغات الناتجة عن ترتيب السلاسل العمودية crankshafts والتى يمكن ملئها بالكاتيونات القلوية المختلفة (صوديوم، بوتاسيوم، كالسيوم) فى تناسق تساعى 9-fold coordination. ينشأ الإنفصام موازياً للوجه (010) و(001).



شكل ٧-١١: البنية البلورية للسانيدين.

(http://www.esc.cam.ac.uk/~rjh40/teaching.html)

تعتمد مدى إستقرارية تلك الشبكية من رباعيات الأوجه إلى حد كبير على مدى ملائمة الكاتيونات لملىء الفراغات البينية بتلك البنية. فلو أن الكاتيونات صغيرة جداً فى الحجم، فإن البنية سوف تتشوه عند درجات الحرارة المنخفضة لكى تقلل حجم الفراغ بالموقع (شكل ٧-١٢). هذا الوضع يؤدى إلى عملية إنتقال للصنف بالإزاحة. فى حالة درجات الحرارة العالية، يكون هناك حرية لحركة وتذبذب الكاتيونات مما يساعد على عدم إنهيار أو تشوه البنية البلورية.



شكل ٧-١٢: بنية بلورية مشوهة نتيجة إنخفاض درجة الحرارة. بالمقارنة مع شكل ٧-١١، لاحظ مدى التشوه في الفراغات البينية (لون أزرق شاحب).

(http://www.esc.cam.ac.uk/~rjh40/teaching.html)

يؤدى إنتقال الصنف من حالة إلى أخرى إلى عملية دوران متماثلة في كل رباعيات الأوجه المتشاركة فى أركانها، والتى تعمل إلى حد ما وكأنها وحدات صلبة متماسكة. يوضح شكل رقم (٧-١٢) مسقط للبنية ذات التماثل $C\bar{1}$ (فصيلة الميول الثلاثة) أسفل المحور "a"، بالمقارنة مع شكل رقم (٧-١١) (تماثل $C2/m$، فصيلة الميل الواحد)، لاحظ فقد مستوى التماثل {010}

وكذلك محور الدوران الثنائي الموازى للمحور "b". يؤدى هذا الفقد فى بعض عناصر التماثل إلى وجود مايسمى بتوأم التحويل Transformation twins.

تتشابه البنية البلورية للألبيت ($NaAlSi_3O_8$) مع مثيلتها للسانيدين عند درجات الحرارة التى تعلو ٩٨٠°م. ولكن عند درجة أقل من ٩٨٠°م يحدث تشوه للبنية البلورية حول كاتيون الصوديوم الصغير مما يؤدى إلى تغيير التماثل من أحادى الميل Monoclinic ($C2/m$) إلى ثلاثى الميل Triclinic ($C\bar{1}$) (شكل ٧-١٣).

ترتيب وعدم ترتيب الألومنيوم والسيليكون بالفلسبار
Al-Si Order and Disorder in Feldspar

يوجد بالفلسبار البوتاسى موقعين لرباعى الأوجه (T2 , T1)، تشغل ذرات الألومنيوم والسيليكون هذين الموقعين بحيث يحدث لهما نوع من عدم الترتيب عند درجات الحرارة العالية. ينتج عن ذلك بنية ذات تماثل أحادى الميل ويسمى المعدن في هذه الحالة بالسانيدين. ومع التبريد، يحدث نوع من الترتيب لذرات الألومنيوم والسيليكون بحيث لا تشغل ذرات الألومنيوم مواقع متجاورة من رباعيات الأوجه وتسمى هذه العملية "قاعدة تجنب الألومنيوم Al avoidance principle"، فينتج عن ذلك بنية ذات تماثل ثلاثى الميل ويسمى المعدن في هذه الحالة بالميكروكلين.

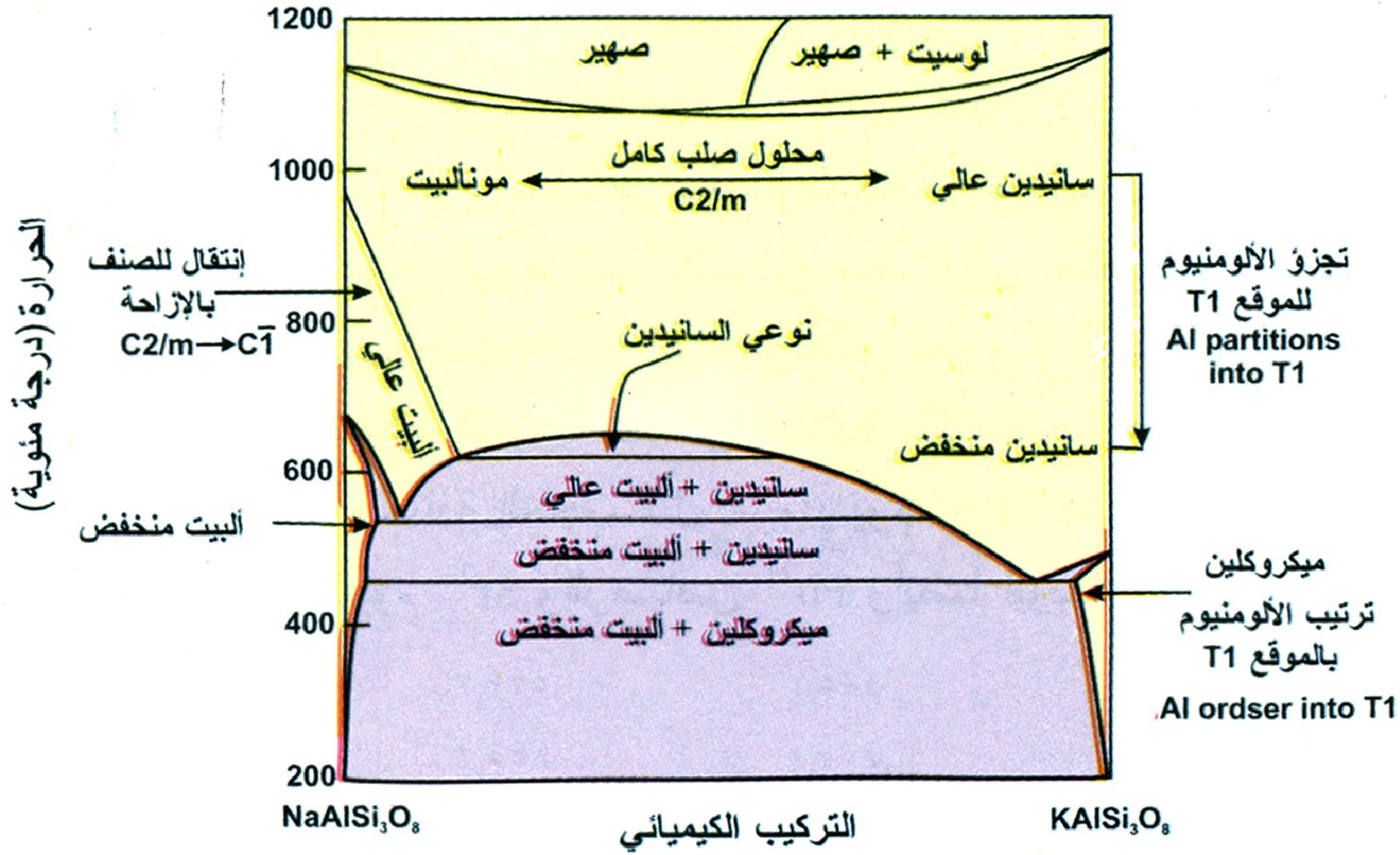
نخلص من ذلك إلى أن هناك طريقتين يحدث من خلالهما إنتقال لمستويات التماثل بالسانيدين (من التماثل $C2/m$ إلى التماثل $C\bar{1}$)، الطريقة الأولى متمثلة فى تشوه البنية الشبكية للسانيدين عندما يكون الكاتيون الذى يشغل الفراغات البينية صغير فى الحجم وتسمى هذه العملية بإنتقال الصنف بالإزاحة Displacive phase transition وتسمى الطريقة الأخرى بإنتقال الصنف عن طريق ترتيب ذرات الألومنيوم والسيليكون Al-Si cation ordering phase transition. يظهر تأثير كل من الطريقتين بوضوح فى نظام الفلسبار البوتاسى.

يمكن توضيح عمليات التغير التى تتم بالبنية البلورية لمعادن الفلسبار من خلال مخطط ثنائى الصنف Binary phase diagram والموضح بالشكل رقم (٧-١٣)، يتضح من هذا الشكل الأتى:

١- الفلسبار الغنى بالصوديوم Albite-rich feldspar: يتخذ الألبيت تماثل أحادى الميل (C2/m) عند درجات حرارة تزيد عن ٩٨٠°م حيث يكون هناك نوع من عدم الترتيب لذرات الألومنيوم والسيليكون. يسمى هذا الصنف باسم مونألبيت Monalbite. عند درجات حرارة أقل من ٩٨٠°م تتحول البنية من التماثل الأحادى الميل (C2/m) إلى التماثل ثلاثى الميول ($C\bar{1}$) عن طريق عملية الإنتقال بالإزاحة. عندما تصبح البنية ذات تماثل ثلاثى الميل، يحدث عملية ترتيب لذرات الألومنيوم والسيليكون. تسمى البنية فى هذه الحالة باسم الألبيت العالى High albite. عند درجات حرارة حوالي ٥٢٠°م، تزداد درجة الترتيب لذرات الألومنيوم والسيليكون بسرعة كبيرة وتسمى البنية فى هذه الحالة باسم الألبيت المنخفض Low albite. لاحظ أن الإنتقال من المونألبيت إلى الألبيت العالي من نوع الإنتقال بالإزاحة حيث يحدث تغير في درجة التماثل، بينما الإنتقال من الألبيت العالي إلى الألبيت المنخفض ليس من نوع إنتقال الصنف بالإزاحة لأن كلا المعدنين لهما نفس التماثل $C\bar{1}$.

٢-الفلسبار الغنى بالبوتاسيوم Potassium-rich feldspar: عند درجات الحرارة العالية، تنتشر ذرات الألومنيوم والسيليكون بشكل عشوائى خلال مواقع رباعى الأوجه وتسمى هذه البنية باسم السانيدين العالى High sanidine. مع إنخفاض درجات الحرارة، فأنه يحدث تجزئة تدريجية Gradual partitioning لذرات الألومنيوم إلى داخل الموقع T1 (سانيدين منخفض Low sanidine). لاحظ أن الإنتقال من السانيدين العالي إلى السانيدين المنخفض لايصاحبه تغير فى درجة التماثل. عند درجات حرارة أقل من ٤٨٠°م، يحدث نوع من الترتيب لذرات

الألومنيوم بالموقع T1 ومن ثم يحدث إنتقال من التماثل أحادي الميل $C2/m$ (السانيدين) إلى التماثل ثلاثي الميل $C\bar{1}$ (الميكروكلين).



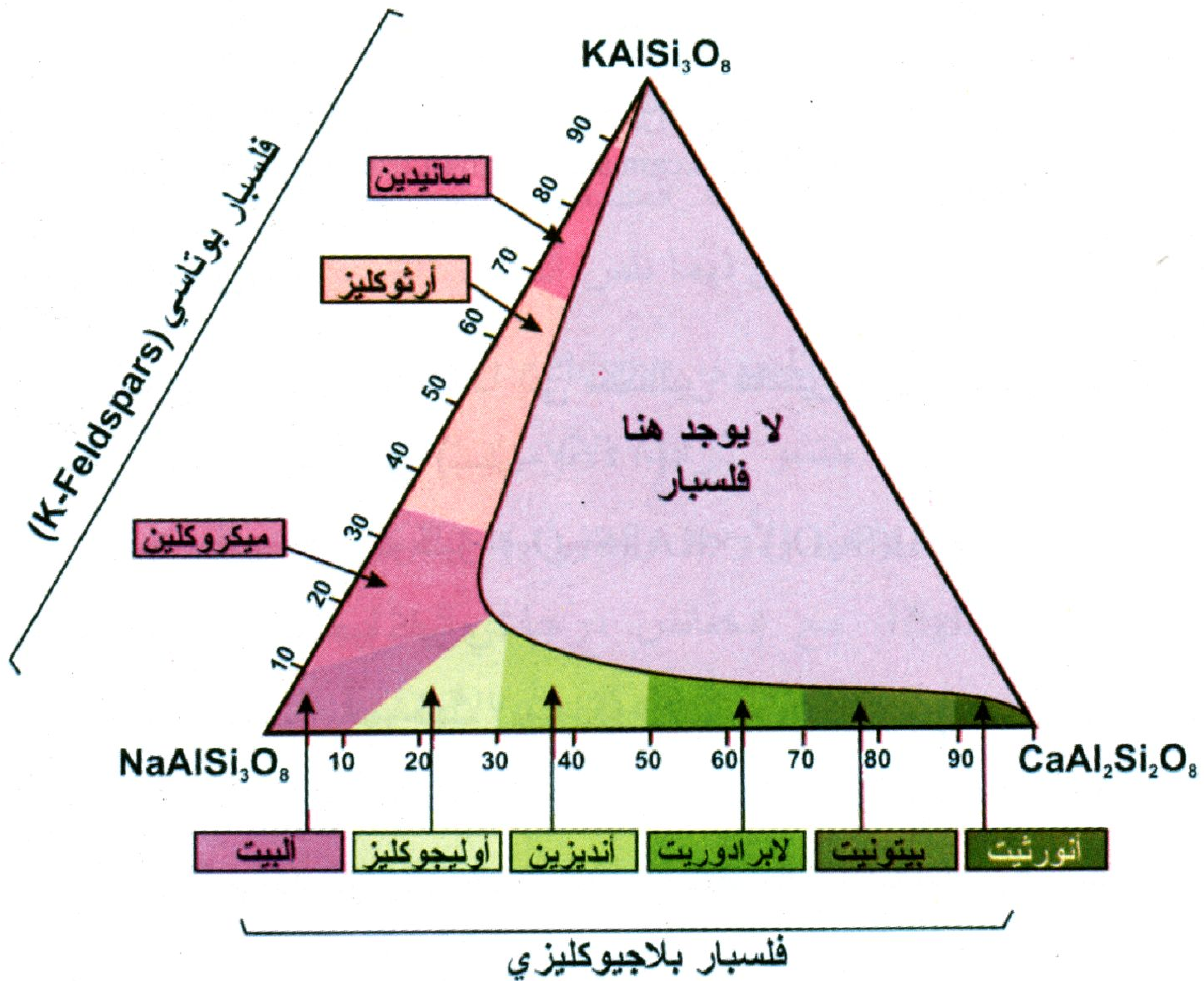
شكل ٧-١٣: مخطط صنف ثنائي Binary phase يبين تغير أصناف الفلسبار مع تغير درجات الحرارة والتركيب الكيميائي. http://www.esc.cam.ac.uk/~rjh40/teaching.html

كيميائية المعدن

يمكن تصنيف الفلسبار كيميائياً إلى سلسلتين هامتين من المحاليل الصلبة:

- سلسلة الفلسبار البوتاسي (شكل ٧-١٤):
  - ألبيت- أرثوكليز $NaAl(Si_3O_8) - KAl(Si_3O_8)$ 
- سلسلة الفلسبار البلاجيوكليزي:
  - ألبيت- أنورثيت $NaAl(Si_3O_8)$- $CaAl_2(Si_2O_8)$ 

تتمثل سلسلة الفلسبار البوتاسى فى عملية إستبدال البوتاسيوم محل الصوديوم وتظل نسبة الألومنيوم إلى السيليكا ثابتة فى معظم التراكيب. وتتمثل سلسلة الفلسبار البلاجيوكليزى فى عملية إحلال مزدوج لعنصرى الصوديوم والسيليكون محل الكالسيوم والألومنيوم $(Na^{+} + Si^{4+}) = (Ca^{2+} + Al^{3+})$ مع إنخفاض درجات الحرارة. وتتغير نسبة الألومنيوم إلى السيليكون (Si:Al) من ٣:١ إلى ١:١ عبر سلسلة المحلول الصلب. يؤدى هذا النوع من الإستبدال المزدوج إلى ترتيب كاتيونى معقد وإلى ظاهرة لفظ المحاليل أو إنفصال المحاليل Exsolution عند درجات الحرارة المنخفضة. كما تساعد المرونة فى الشبكية البلورية لمعادن الفلسبار إلى القدرة على إستضافة أنواع من الكاتيونات مختلفة الحجم، مثل الروبيديوم Rb^{+} والسيزيوم Cs^{+} والباريوم Ba^{2+} والسترنشيوم Sr^{2+} والرصاص Pb^{2+} وأيضاً أيونات متعددة الذرات مثل NH^{+}_{4}.



شكل ٧-١٤: تصنيف الفلسبار.

جدول ٧-٢: أمثلة للتحاليل الكيميائية لمعادن الفلسبار.

	١	٢	٣	٤
SiO_2	٦٥,٣٢	٥٨,١٤	٥٣,٠٦	٤٦,٦٤
Al_2O_3	٢٢,٦١	٢٦,٨٧٣	٢٨,٩٥	٣٤,٣٦
FeO	٠,٠٣	٠,٠٠	٠,٦٠١	٠,٣٤
CaO	٣,٢٢	٩,٢٦٢	١١,٦٦	١٧,٨١
Na_2O	١٠,٢٨	٦,٣٩٧	٤,٨٨	١,٧٠
K_2O	٠,١٧	٠,١٢٣	٠,٠٥١	٠,٠٢
المجموع	١٠١,٦	١٠٠,٨	٩٩,٢٠	١٠٠,٨
٨ ذرة أكسجين				
Si	٢,٨٤	٢,٥٨٤	٢,٤٢٥	٢,١٣
Al	١,١٦	١,٤٠٦	١,٥٥٨	١,٨٥
Fe^{2+}	٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠٢٣	٠,٠١
Ca	٠,١٥	٠,٤٤١	٠,٥٧١	٠,٨٧
Na	٠,٨٧	٠,٥٥١	٠,٤٣٢	٠,١٥
K	٠,٠١	٠,٠٠٧	٠,٠٠٣	٠,٠٠
Or	٠,٩٠	٠,٧٠	٠,٣٠	٠,١٠
Ab	٨٤,٤٨	٥٥,٢٠	٤٢,٩٠	١٤,٧٣
An	١٤,٦٢	٤٤,١٠	٥٦,٨٠	٨٥,١٧

An= أنورثيت ، Ab= ألبيت ، Or= أرثوكليز

١= أوليجوكليز بصخور النيس بمنطقة وادي حيمور-أبوسويل، جنوب الصحراء الشرقية، مصر (عبد النبي وفريش ٢٠٠٢ Abd El-Naby and Frisch)

٢ = أنديزين بصخور النيس بوادي جيثوا Wadi Jithwah، المملكة العربية السعودية (الفيلالي وعبد النبي Al-Filali and Abd El-Naby ٢٠٠٣).

٣= لابرادوريت بصخور الامفيبوليت بمنطقة حفافيت، مصر (عبد النبي وفريش ، تحت التحضير In preparation).

٤= بيتونيت بصخور الامفيبوليت بمنطقة وادي حيمور، جنوب الصحراء الشرقية، مصر (عبد النبي وأخرون ٢٠٠٠).

جدول ٧-٢ : تابع

	٥	٦	٧	٨
SiO_2	٥٠,٣٥	٤٣,١٤	٦٤,٦٤	٦٢,١٢
Al_2O_3	٣١,٨٩	٣٦,٦٤	١٩,٠٢	٢٢,١٦
FeO	٠,١٣٨	٠,٠٦	٠,٠٨	٠,٠٣
MnO	٠,٠٠	٠,٠٦	٠,٠٠	٠,٠٠
MgO	٠,٠٠	٠,٣٢	٠,٠٠	٠,٠٠
CaO	١٥,٥٥	٢٠,٢٨	٠,٠٠	٣,٥٠
Na_2O	٢,٦٧	٠,٠٢	٠,٩٧	٧,١٥
K_2O	٠,٠٢٧	٠,٠٠٠	١٥,٦٦	٣,٨٤
المجموع	١٠٠,٥	١٠٠,٥٢	٩٩,٠٦	٩٨,٨٠
٨ ذرة أكسجين				
Si	٢,٢٨٣	١,٩٩	٢,٩٧	٢,٨١
Al	١,٧٠٣	١,٩٩	١,٠٣	١,١٨
Fe^{2+}	٠,٠٠٥	٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠٠
Mn	٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠٠
Mg	٠,٠٠	٠,٠٢	٠,٠٠	٠,٠٠
Ca	٠,٧٥٥	١,٠٠	٠,٠٠	٠,١٧
Na	٠,٢٣٥	٠,٠٠	٠,٠٨	٠,٦٣
K	٠,٠٠٢	٠,٠٠	٠,٩٢	٠,٢٢
Or	٠,٢٠	٠,٠٠	٩١,٤	٢١,٠
Ab	٢٣,٧٠	٠,٢٠	٨,٦٠	٦٢,٠
An	٧٦,١٠	٩٩,٨٠	٠,٠٠	١٧,٠

٥= بيتونيت بصخور الامفيبوليت بمنطقة حفافيت، مصر (عبد النبي وفريش ، تحت التحضير In preparation).

٦= أنورثيت بالصخور الرسوبية المتحولة Metasediments بمنطقة القظة، المملكة العربية السعودية (دروب والفيلالي ١٩٩٦ Droop and Al-Filali).

٧= سانيدين بصخور الشيست بمنطقة معيتق Meatiq، الصحراء الشرقية، مصر (نويماير وأخرون ١٩٩٨ Neumayr et al.).

٨= ميكروكلين بصخور الميتابيلليت بمنطقة ساو فرانسيسكو São Francisco ، جنوب شرق البرازيل (نيتو وكابي ١٩٩٩ Neto and Caby).

ظاهرة إنفصال المحلول فى الفلسبار
Exsolution Phenomena in Feldspar

كما إتضح من الفقرة السابقة، يصنع كل من الفلسبار البلاجيوكليزي والبوتاسي سلاسل من المحلول الصلب Solid-solution series عند درجات الحرارة العالية. مع التبريد والتبلور، يحدث نوع من الفصل للفلسبار ليكّون تركيبين مختلفين وخصوصاً عندما تكون معدلات التبريد منخفضة بالدرجة التى تسمح بفصل الأيونات وتكوين صنفين من الفلسبار. فى هذه الحالة، ينفصل الفلسبار البلاجيوكليزي ليكّون ألبيت (فلسبار غني بالصوديوم) وأنورثيت (فلسبار غني بالكالسيوم)، بينما ينفصل الفلسبار القلوي ليكون فلسبار غنى بالبوتاسيوم وألبيت غنى بالصوديوم.

عندما يتبلور الفلسبار القلوى (سانيدين وأرثوكليز وألبيت) عند درجات حرارة عالية نسبياً، فإن كل من أيونات البوتاسيوم والصوديوم يمكنها تبادل المواقع ببنية الفلسبار القلوى، وذلك لأن التذبذب الحراري لكل من الكاتيونين عند درجات الحرارة العالية يزيل تأثير فرق الحجم الأيونى بينهما. ولكن مع هبوط درجة الحرارة، تقل أيضاً درجة التذبذب الأيوني، وبالتالى فأن أيونى البوتاسيوم والصوديوم يتحركا فى صفائح أو طبقات مختلفة تمثل إحداهما الأرثوكليز والأخرى الألبيت. تسمى هذه العملية بإنفصال المحلول Exsolution والتى تؤدى إلى تكوين مركبين مختلفين. تختلف حجم الصفائح أو الطبقات من المستوى المرئي بالعين المجردة إلى الحجم الصغير الذى لا يرى إلا بواسطة الميكروسكوب. ومن أنواع الأنسجة التى تنتج من إنفصال المحلول فى حالة الفلسبار البوتاسى: البيرثيتي Perthite والأنتيبيرثيتي Anti- perthite.

فى حالة الفلسبار البلاجيوكليزي، تتم سلسلة المحلول الصلب من الألبيت إلى الأنورثيت من خلال إستبدال ثنائى لأيوني الصوديوم والسيليكون $Na^+ + Si^{4+}$ وأيوني الكالسيوم والألومنيوم $Ca^{2+} + Al^{3+}$. يحدث نوع من إنفصال المحلول عند عمليات التبريد البطيئة وينتج عن ذلك عدة أنسجة، منها النمو المشترك من نوع البيريسيتريت Peristerite وبوجيلد Boggild وهاتينلوشير Huttenlocher، وسوف نتناول بعض الأنسجة بالتفصيل في الفقرة القادمة.

النمو المشترك للفلسبار Feldspar Intergrowths

نتعرف من خلال هذه الفقرة على أنواع الأنسجة المختلفة التى تنتج عن عمليات إنفصال الخليط.

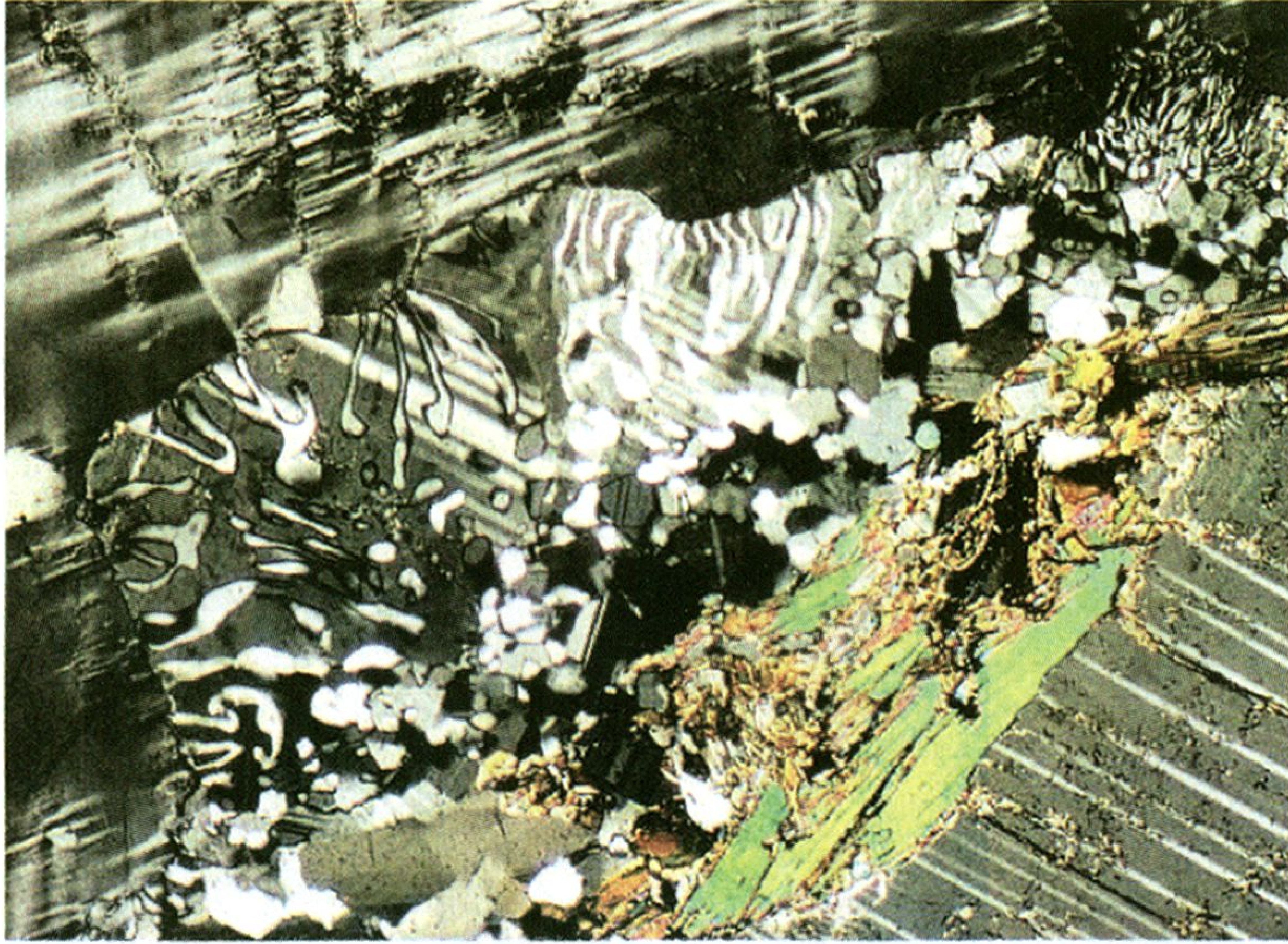
- النمو المشترك الخطي Graphic intergrowth: ينشأ عن نمو مشترك بين بلورات صغيرة من الكوارتز داخل بلورة كبيرة من الفلسبار القلوى. ينتشر هذا النوع من النمو المشترك بصخور البيجماتيت (شكل ٧-١٥).



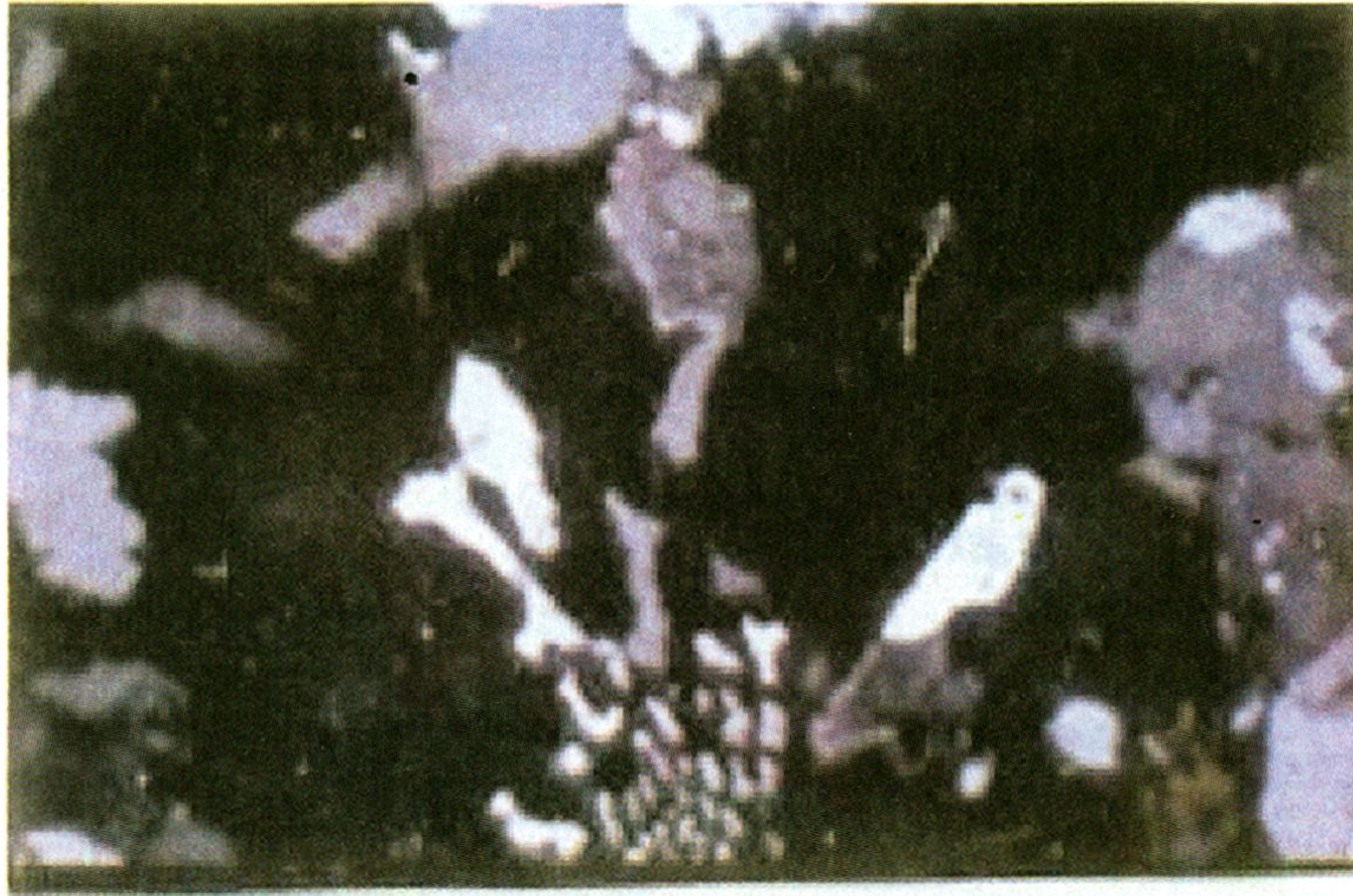
شكل ٧-١٥: نمو مشترك للكوارتز بالفلسبار القلوي ليكونا نسيج النمو المشترك الخطي.

- النمو المشترك الميرميكيتي Myrmekitic intergrowth وهو نمو مشترك من الكوارتز على هيئة ديدان صغيرة داخل البلاجيوكليز وقد يمتد إلى الفلسبار القلوى المجاور (شكل ٧-١٦).

- النمو المشترك الجرانوفيرى Granophric intergrowth وفيه تنمو بلورات الكوارتز داخل الفلسبار القلوى على هيئة شعاعية تكون دقيقة فى البداية وتنتهى بنسيج خطي سميك (شكل ٧-١٧).



شكل ٧-١٦: نمو مشترك للكوارتز داخل البلاجيوكليز ليكونا النسيج الميرميكيتي.



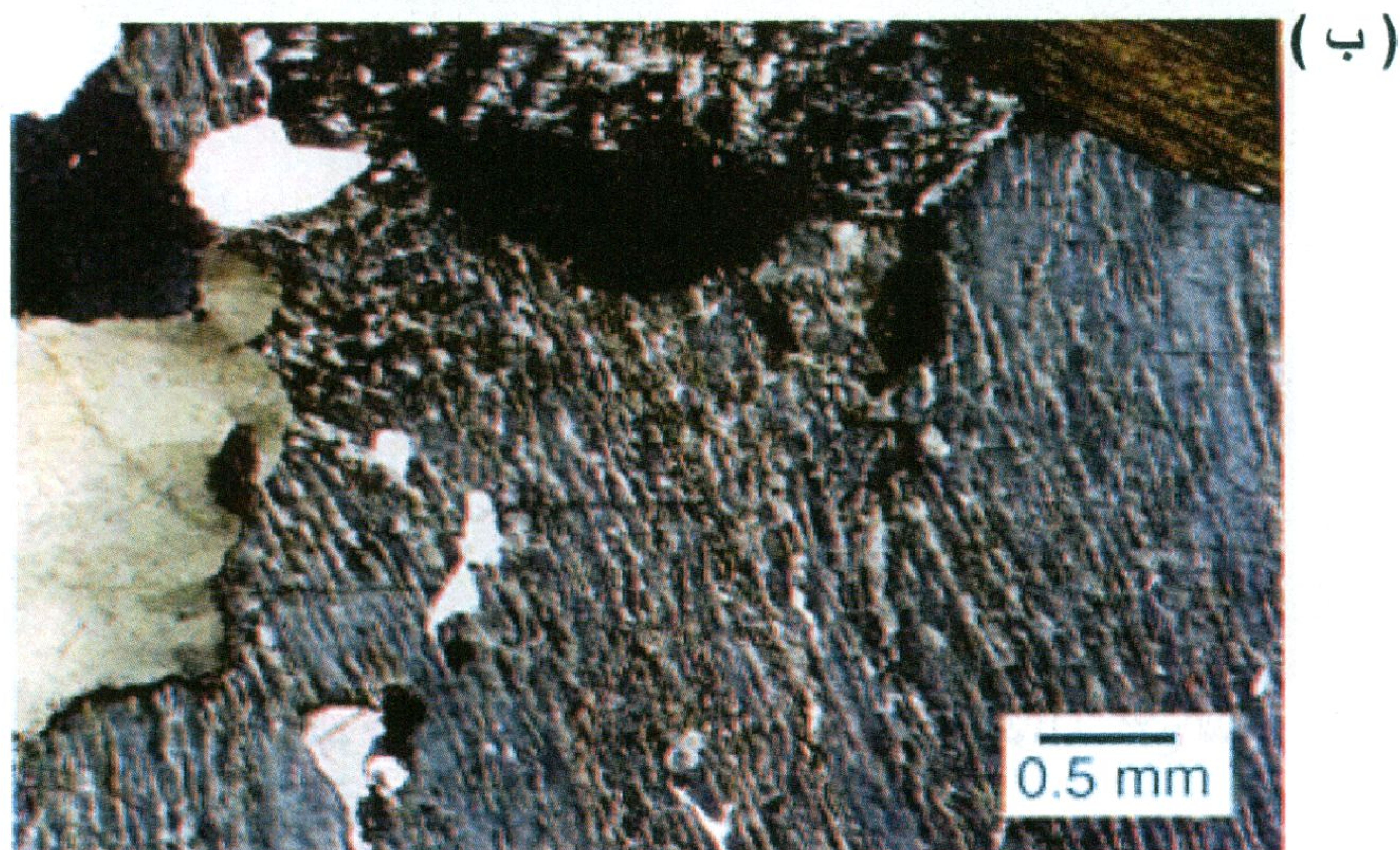
شكل ٧-١٧: نمو مشترك للكوارتز داخل الفلسبار القلوي ليكونا نسيج النمو المشترك الجرانوفيرى.

- النسيج البيرثيتى Perthite والأنتبيرثيتي Antiperthite وفيه يحدث نمو مشترك بين البلاجيوكليز والفلسبار البوتاسى. يطلق اسم البيرثيت عند تواجد بلورات من البلاجيوكليز داخل بلورات الفلسبار البوتاسي. أما فى حالة النمو الأنتبيرثيتي، فيحدث العكس حيث توجد بلورات الفلسبار البوتاسي داخل البلاجيوكليز (شكل ٧-١٨).

(أ)



(ب)

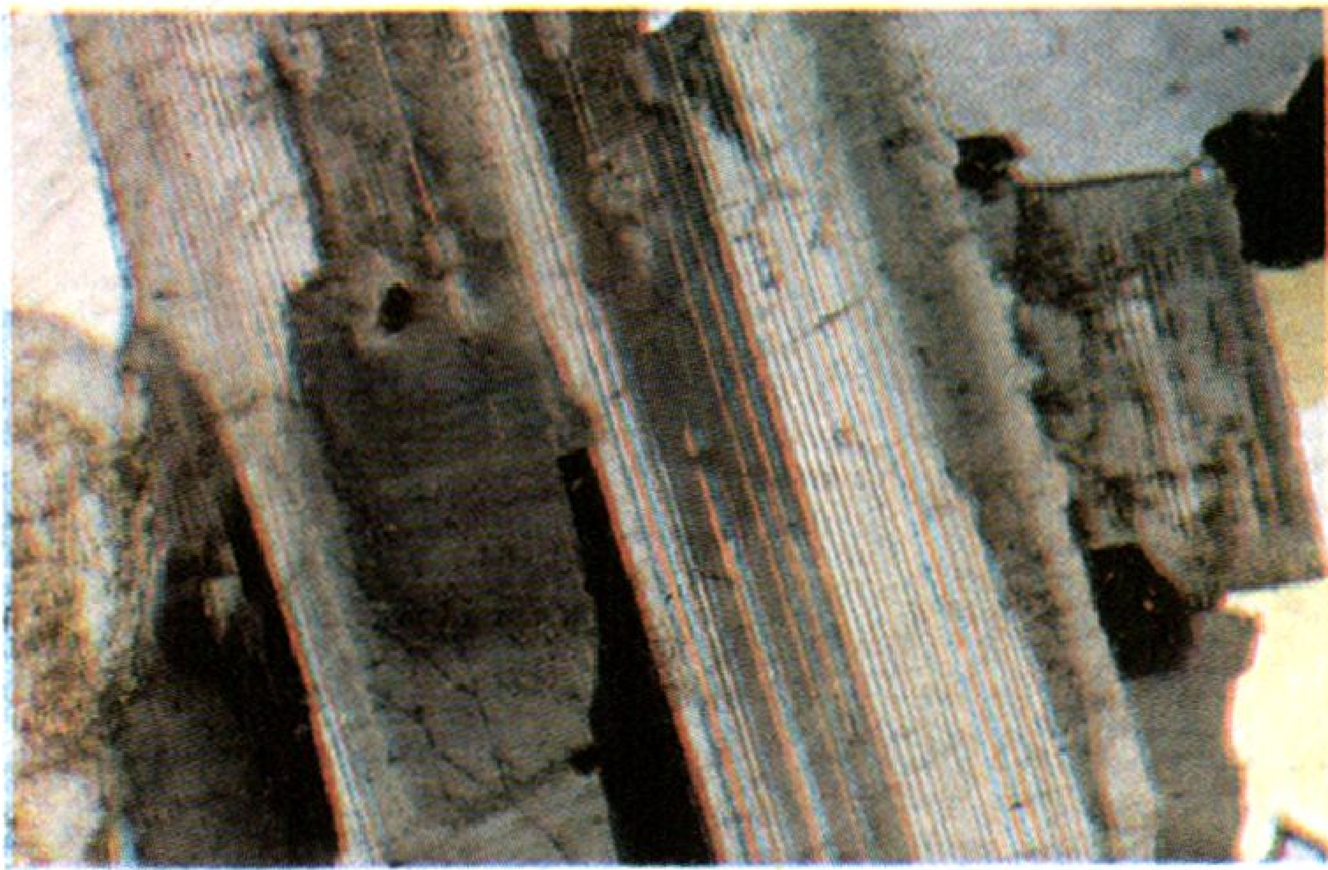


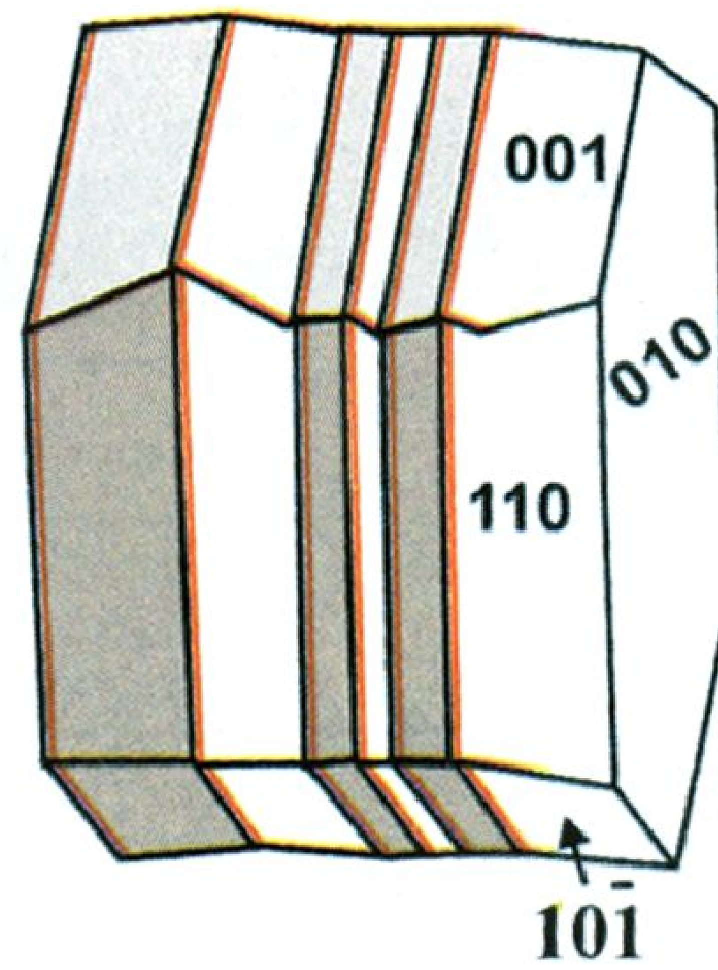
شكل ٧-١٨: (أ) نسيج بيرثيتي ، (ب) نسيج أنتبيرثيتي.

توأمية الفلسبار Feldspar Twinning

تعتبر التوأمية من أحد الخصائص الهامة والمميزة لمعادن الفلسبار، فقد تم تعريف حوالي ٢٠ قانون توأمي بالفلسبار، ولكن تواءم الألبيت والبيريكلين وكارلسباد وبافينو ومانباخ هم الأكثر إنتشاراً. يكثر وجود تواءم الألبيت والبيريكلين بالفلسبار المتبلور بفصيلة الميول الثلاثة ولا يمكن تواجدهما فى الفلسبار المتبلور بفصيلة الميل الواحد.

- توأمية الألبيت Albite twinning: ينتج توأم الألبيت من إنعكاس للمستوى التوأمي الموازى للوجه (010) (شكل ٧-١٩). يتميز الألبيت بالتواءم المتعددة Multible twins. ويميز هذا النوع من التوأمية البلاجيوكليز وليس الفلسبار القلوى.

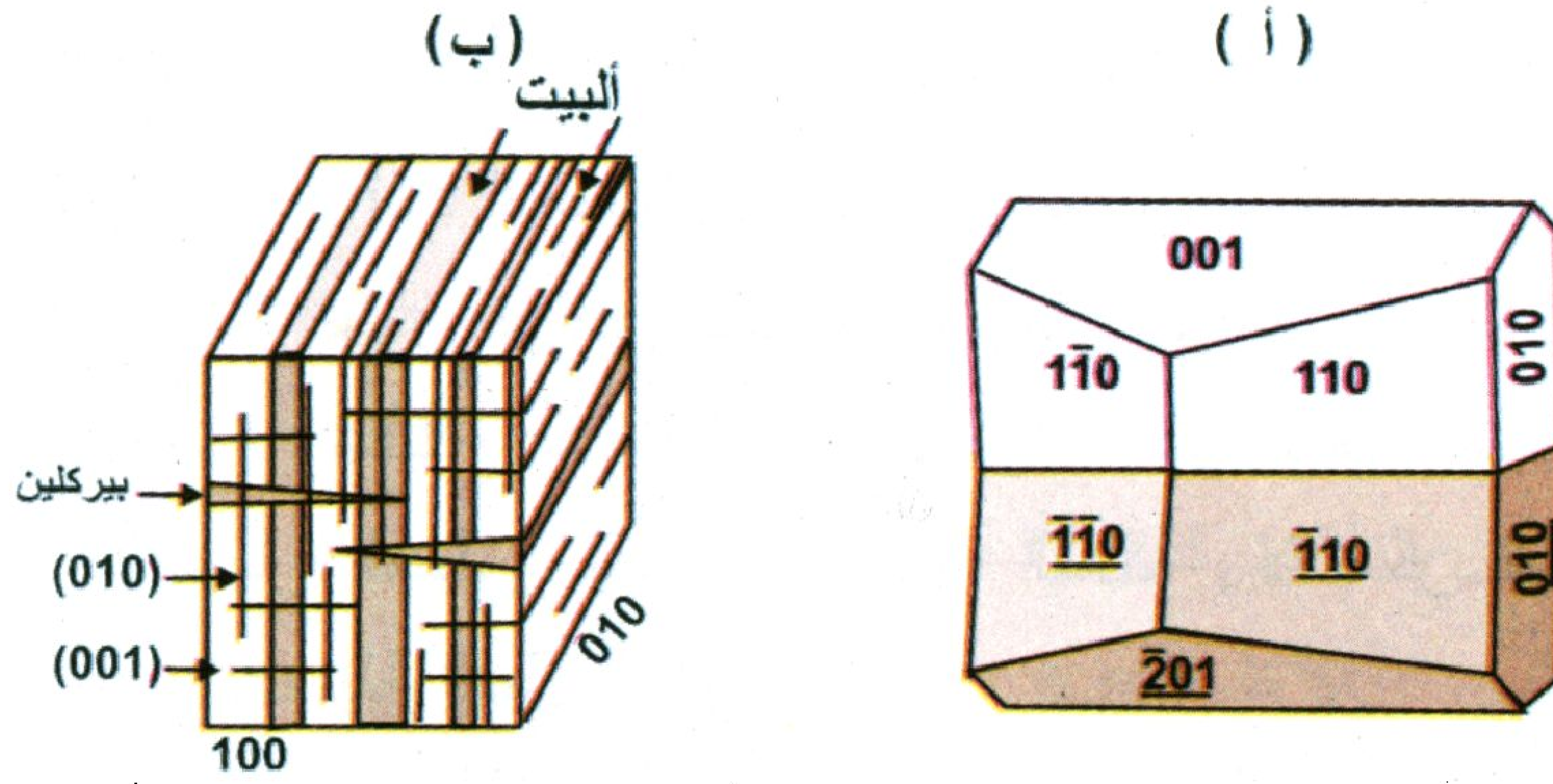




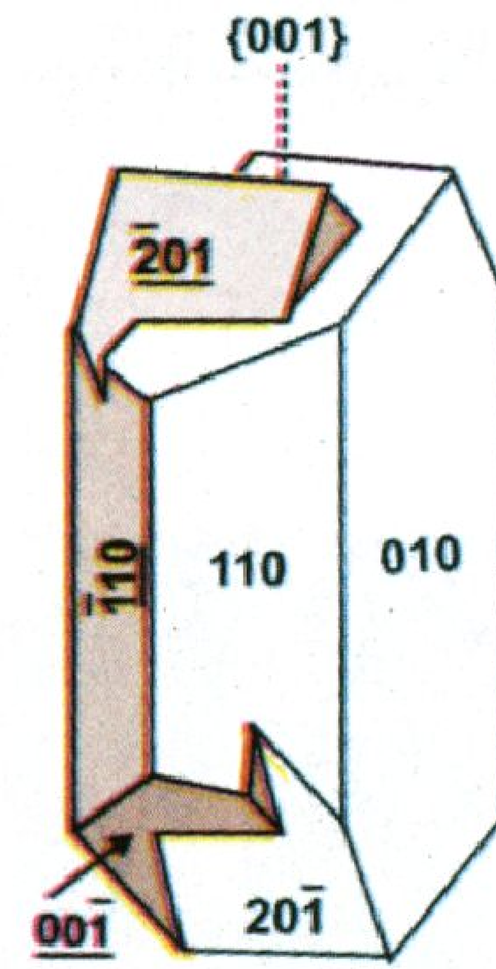
شكل ٧-١٩: تواءم الألبيت موازية للوجه (010).

- توأمية البيريكلين Pericline twinning: عبارة عن تواءم دورانية مع محور توأمي موازى للمستوى {010} (شكل ٧-٢٠).

- توأمية كارلسباد Carlsbad twinning: عبارة عن تواءم دورانية حول محور توأمي موازى للمستوى {001} (شكل ٧-٢١). يتواجد هذا النوع من التوأمية فى كل من الفلسبار البوتاسى بأنواعه: الميكروكلين والسانيدين والأرثوكليز. كما يمكن أن يتكون تواءم متلامسة بسيطة أو أنواع مخترقة.

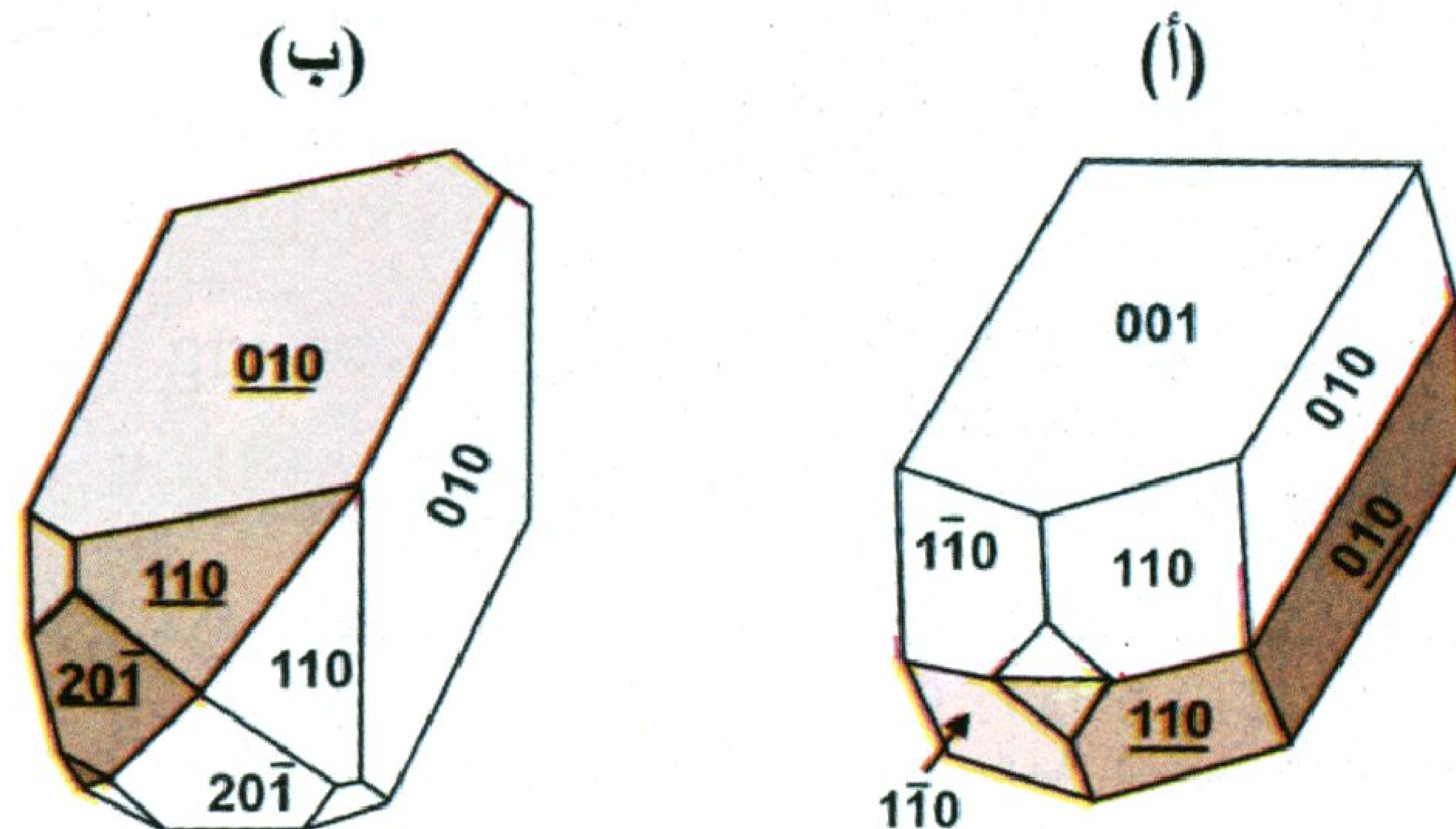


شكل ٧-٢٠: (أ) تواءم بيريكلين والناتجة عن دوران حول المستوى {010}. (ب) تواءم بيريكلين وألبيت.

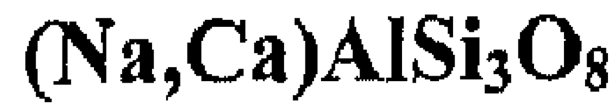
شكل ٧-٢١: تواءم كارلسباد.

- توأمية مانباخ وبافينو Manebach and Baveno: تنتج تواءم مانباخ وبافينو من إنعكاسية على المستوي {001} والمستوى الكاذب {021} على التوالي (شكل ٧-٢٢). يمكن أن يتواجدا بكل من بلورات الميل الواحد والميول الثلاثة.



شكل ٧-٢٢: (أ) تواءم مانباخ، (ب) تواءم بافينو

البلاجيوكليز Plagioclase



$(Na,Ca)AlSi_3O_8$

تُشكل معادن البلاجيوكليز سلسلة كاملة من المعادن المختلفة فى التركيب الكيميائى. تمتد هذه السلسلة من الألبيت (بلاجيوكليز غنى بالصوديوم $NaAlSi_3O_8$) إلى الأنورثيت (بلاجيوكليز غنى بالكالسيوم $CaAl_2Si_2O_8$)، يحل الكالسيوم محل الصوديوم ويصاحب ذلك إحلال للألومنيوم محل السيليكون. وتضم هذه السلسلة ستة معادن تبعاً لنسبة كل من الألبيت والأنورثيت (جدول ٧-٣). حيث أن:

نسبة الألبيت (Ab%)= الصوديوم \ (الصوديوم+الكالسيوم)

نسبة الأنورثيت (An%)= الكالسيوم \ (الصوديوم+الكالسيوم)

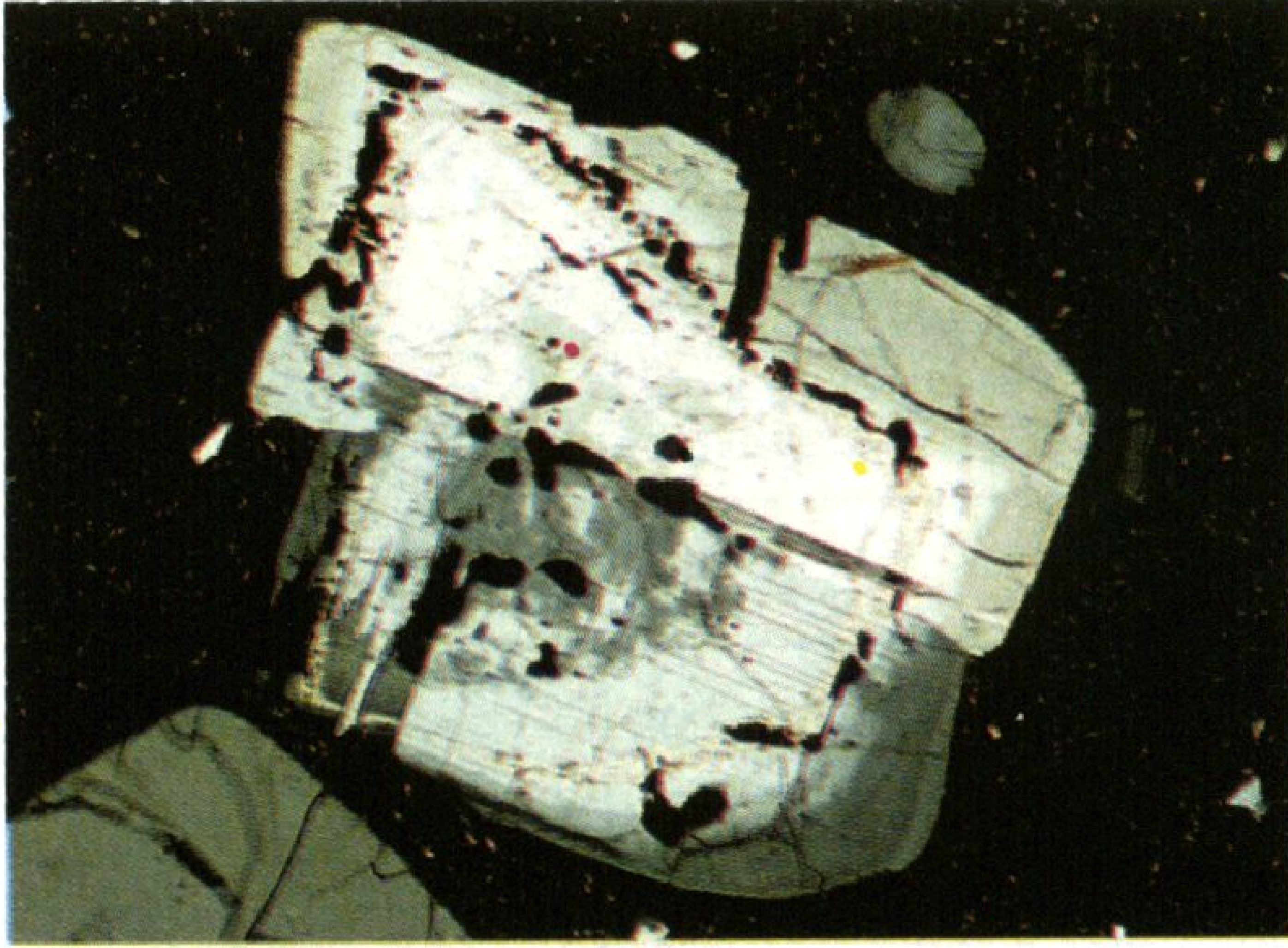
جدول ٧-٣: نسبة الألبيت والأنورثيت بسلسلة معادن البلاجيوكليز

المعدن	% للألبيت	% للأنورثيت
ألبيت	٩٠- ١٠٠	٠- ١٠
أوليجوكليز	٧٠- ٩٠	١٠- ٣٠
أنديزين	٥٠- ٧٠	٣٠- ٥٠
لابرادوريت	٣٠-٥٠	٥٠- ٧٠
بيتونيت	١٠- ٣٠	٧٠- ٩٠
أنورثيت	٠- ١٠	٩٠- ١٠٠

يأتى اسم الألبيت من الكلمة الإغريقية *albus* والتى تعني لون أبيض نقي. بينما تأتي كلمة أوليجوكليز من كلمة إغريقية تعني قليل وذو كسر Little and fracture، نسبةً إلى إنفصام المعدن. وتأتى كلمة لابرادوريت من منطقة لابرادور Labrador حيث يتواجد المعدن ضمن مكونات صخور الأنورثوزيت. وتأتى كلمة بيتونيت من الاسم السابق لولاية أوتاوا بكندا Ottawa, Canada. أما الأنورثيت فقد تم تسميته بواسطة العالم روز Rose عام ١٨٢٣م نسبةً إلى كلمة إغريقية تعنى مائل Oblique، يشير الاسم إلى تبلور المعدن بفصيلة الميول الثلاثة.

الصفات البلورية

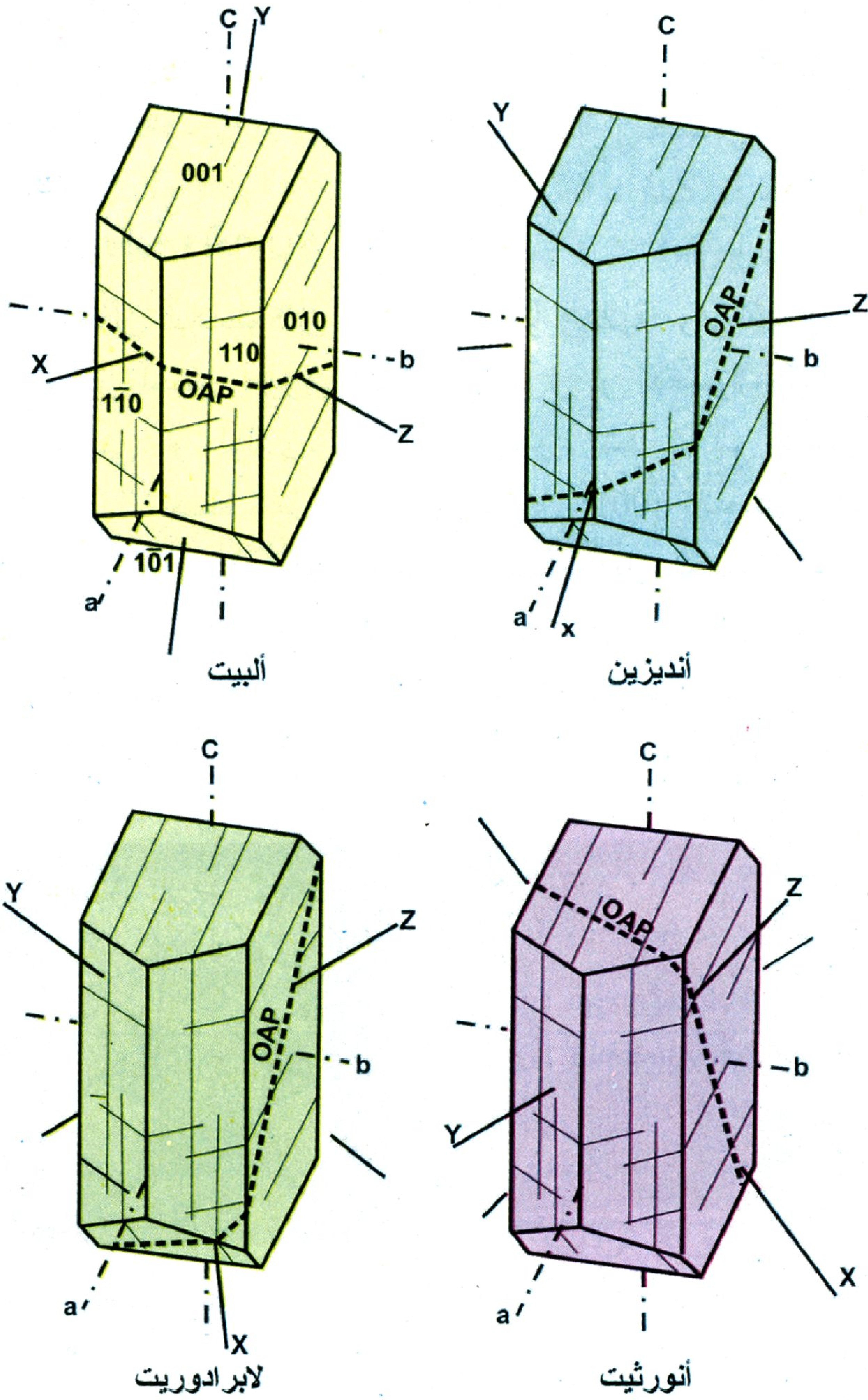
تتبلور معادن البلاجيوكليز بفصيلة الميول الثلاثة. تبلغ أبعاد خلية الوحدة بالألبيت: أ= ٨,١٣٧، ب= ١٢,٧٨٥، ج= ٧,١٥٨ أنجستروم. وتبلغ الزوايا بين المحورية الفا (α)=٩٤,٢٦° وبيتا (β)= ١١٦,٦٠° وجاما (γ)= ٨٧,٠٧١°، ومقدار ماتمتلكه خلية الوحدة من ذرات (Z)=٤. أما أبعاد خلية الوحدة بالأنورثيت، فهي: أ= ٨,١٧٧، ب= ١٢,٨٧٧، ج= ١٤,١٦٩ أنجستروم. وتبلغ الزوايا بين المحورية ألفا (α)=٩٣,١٧° وبيتا (β)= ١١٥,٨٥° وجاما (γ)= ٩٢,٢٢°، وما تحتويه خلية الوحدة من ذرات (Z)= ٨. يشيع وجود النطاقية بمعادن البلاجيوكليز (شكل ٧-٢٣) وخصوصاً بالصخور البركانية والصخور الجوفية المتكونة على أعماق ضحلة. هناك نوعان من النطاقية بالبلاجيوكليز: نطاقية عادية Normal zoning حيث تزداد نسبة الكالسيوم فى لب المعدن، بينما تزداد نسبة الصوديوم بحافة المعدن. وأما عكس ذلك فيسمى بالنطاقية العكسية Reverse zoning. يكثر بالمعدن التوأمية من نوع الألبيت وكارلسباد ومانباخ وبافنيو. يتواجد البلاجيوكليز غالباً كبلورات كاملة الأوجه أو ناقصة الأوجه ويكّون بلورات عمدانية موازية لأطول محور بلورى "c" (شكل ٧-٢٤)



شكل ٧-٢٣: النطاقية بالبلاجيوكليز

كيميائية المعدن

رغم أن البلاجيوكليز يتكون من سلسلة تمتد من تركيب غني بالصوديوم ($NaAlSi_3O_8$) إلى تركيب غني بالكالسيوم ($CaAlSi_3O_8$)، إلا أنه يحتوى على نسبة من جزيئات الأرثوكليز ($KAlSi_3O_8$)، تختلف هذه النسبة من ٤-٥ نسبة جزيئية فى التراكيب الغنية بالكالسيوم (An_{100}) وترتفع بالتدريج إلى ١٠ نسبة

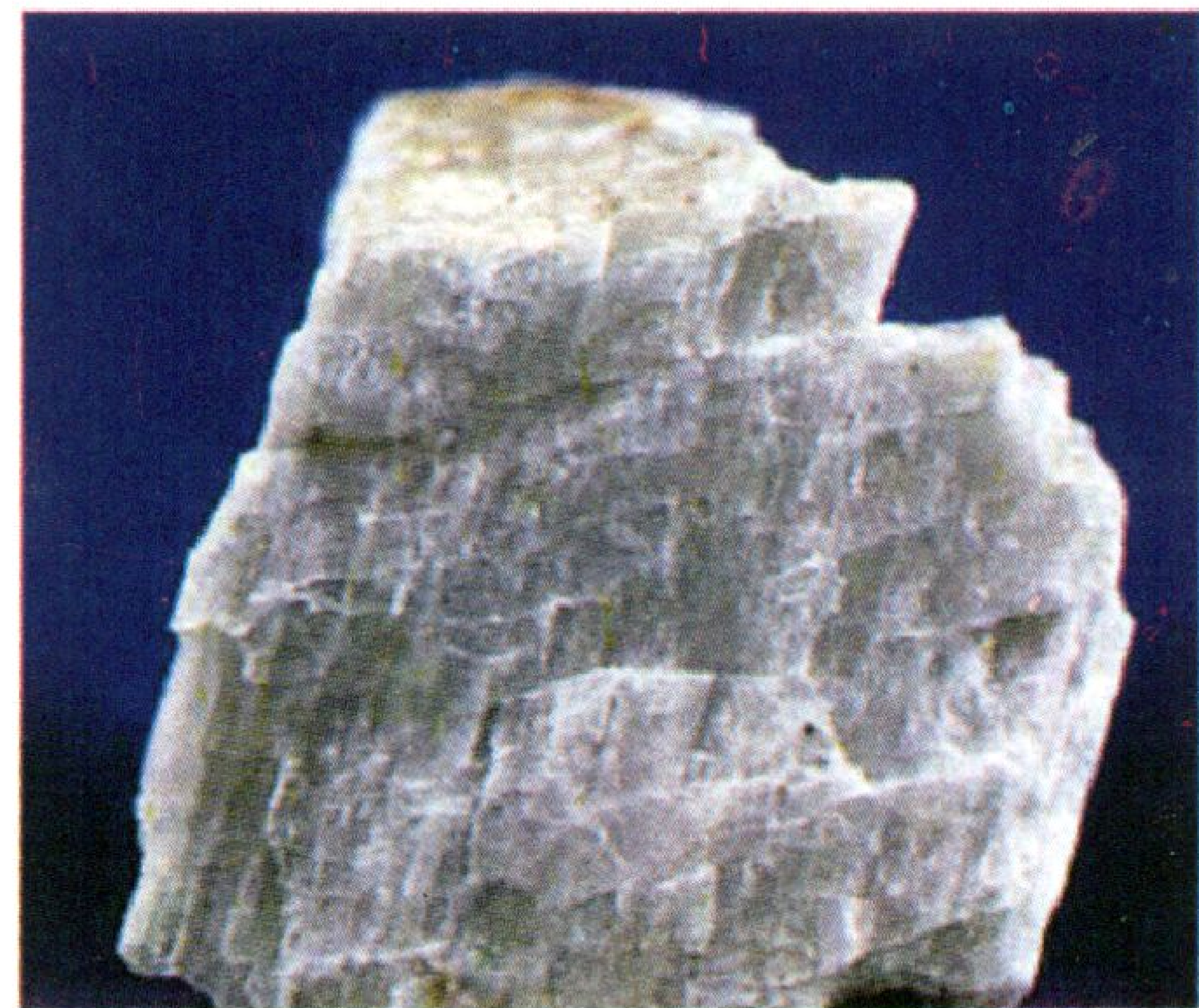


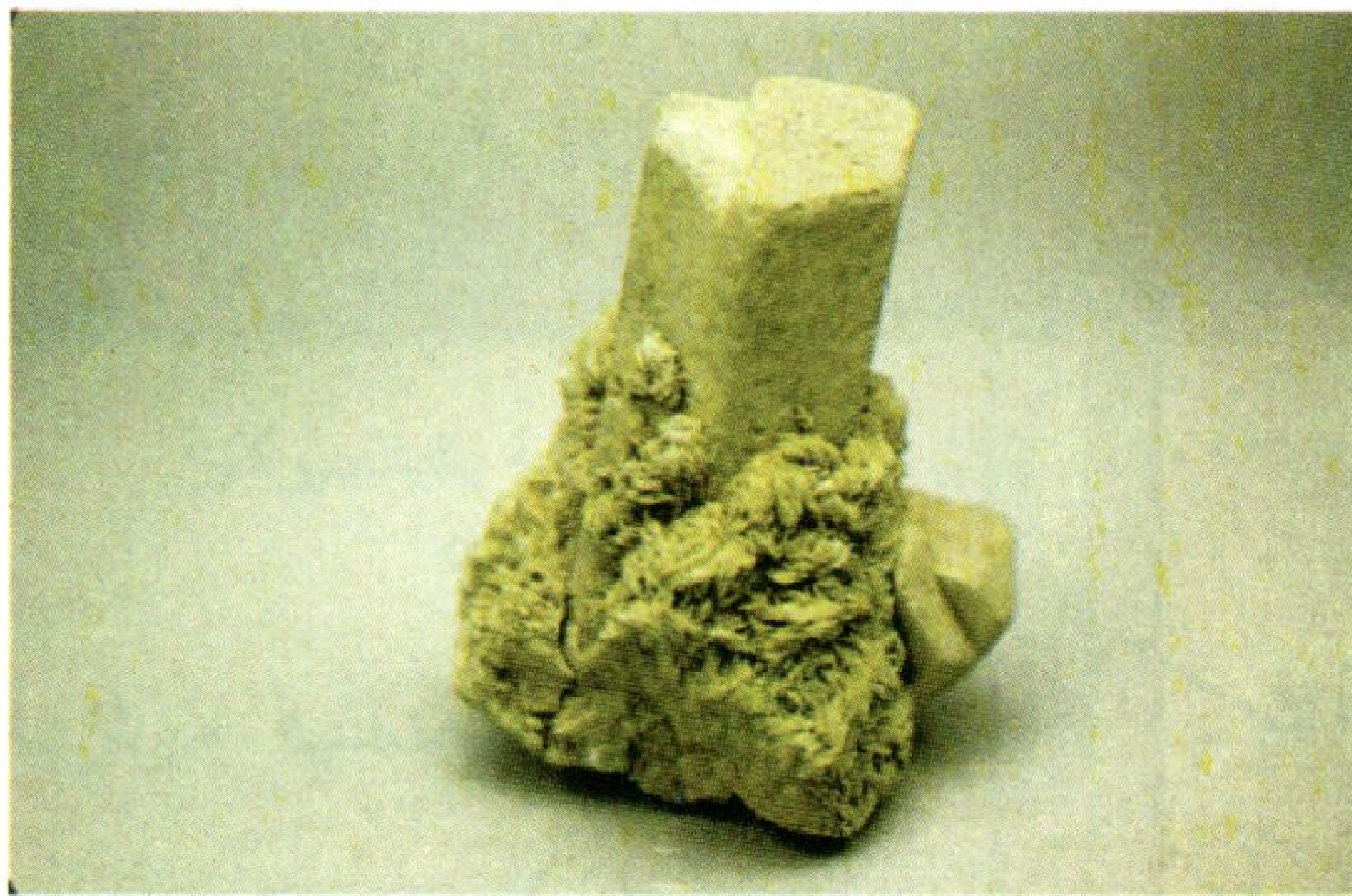
شكل ٧-٢٤ : العلاقة بين المحاور البلورية (a, b , c) ومحاور مجسم معامل الإنكسار (X, Y , Z) فى بلورات بعض معادن البلاجيوكليز. OAP= المستوى المحوري البصري.

جزيئية (mole %) عند محتوى أنورثيتي يساوى ٥٠% (An_{50}). ومن العناصر الأخرى التى يمكن أن تتواجد بالبلاجيوكليز: التيتانيوم Ti والحديد الثلاثى Fe^{3+} والحديد الثنائى Fe^{2+} والمنجنيز والماغنسيوم والباريوم والسترنشيوم (جدول ٧-٢).

الصفات الفيزيائية والبصرية

تظهر معادن البلاجيوكليز عادةً بيضاء أو رمادية، وفى بعض الأحوال قد تكون ذات لون أخضر مزرق ومائل للإصفرار أو الإحمرار (شكل ٧-٢٥). البريق زجاجي أو لؤلؤى. المخدش أبيض. شفاف إلى نصف شفاف. الصلادة= ٦. الإنفصام كامل موازي للمستوى {001} (إنفصام قاعدي) وجيد على المستوى {010} (مسطوح جانبي). يتقاطع هذان المستويان بزاوية ٩٣-٩٤°. هناك أيضاً إنفصام ضعيف على المستوى {110} (منشوري) ولكن يصعب رؤيته بالعين المجردة أو تحت الميكروسكوب. يتدرج الوزن النوعى من ٢,٦٢ إلى ٢,٧٦.





Albite Photo from MII, courtesy of the Smithsonian Institution

شكل ٧-٢٥: (أ) بلورة بيضاء إلى رمادية اللون للألبيت. (ب) ألبيت أخضر ومائل للإصفرار (معهد سميثسونيان Smithsonian).

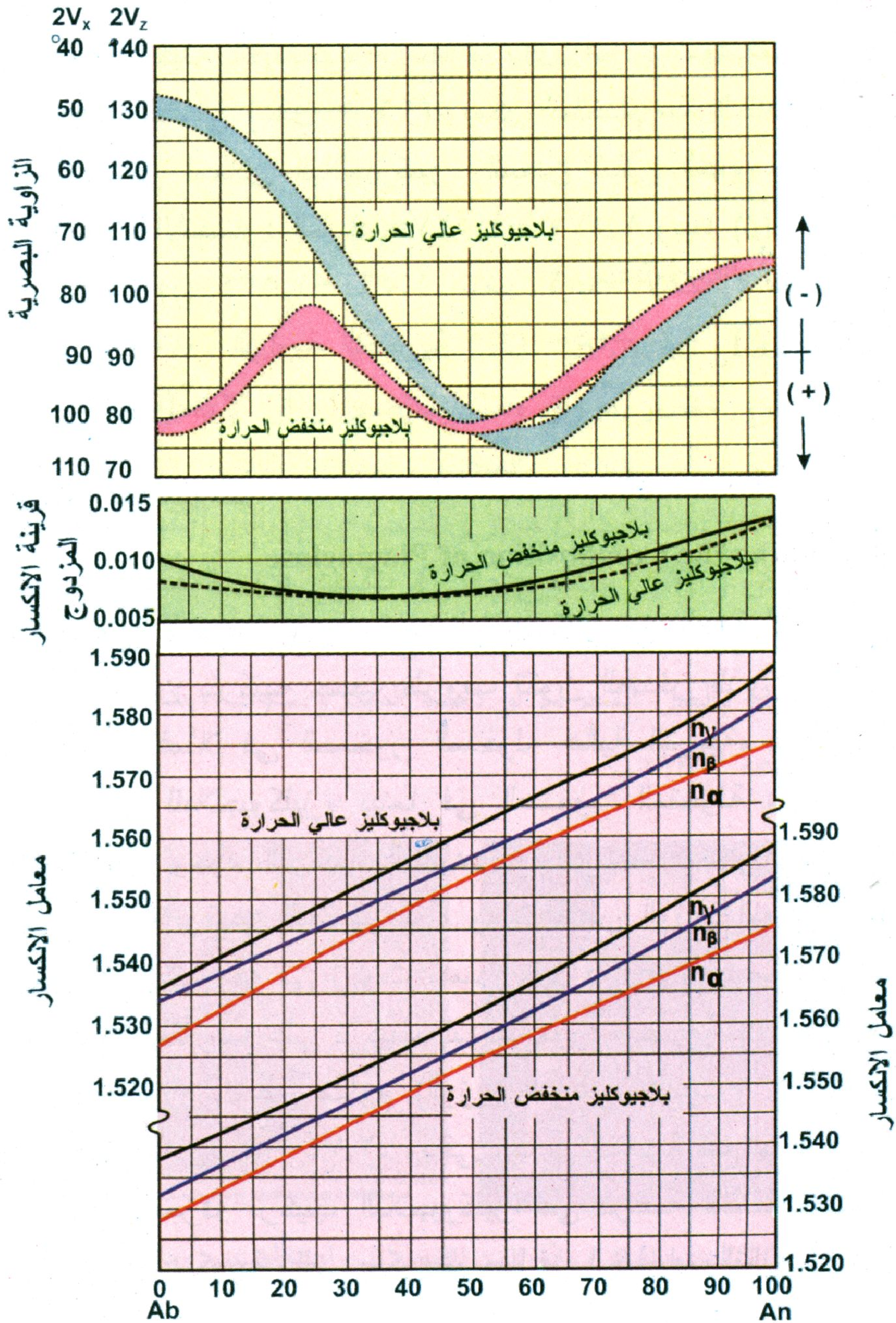
تحت الميكروسكوب، يبدو البلاجيوكليز عديم اللون وأحياناً يكون عليه غمامة Cloudy نتيجة تعرضه الجزئى لعمليات التجوية والتى تحوله إلى معدن سيريسيت Sericite وهو معدن طينى. كما يمكن أن يُظهر المعدن

ألوان محمرة، بنية أو رمادى عند إحتوائه على مكتنفات لأكاسيد الحديد والتيتانيوم. التضاريس منخفضة سالبة أو موجبة. يختلف التوجيه البصرى للمعدن حسب تركيبه الكيميائى. الإنطفاء مائل. تزداد معاملات الانكسار بزيادة المحتوى الكلسي (شكل ٧-٢٦) ويمكن استخدام هذه الخاصية لمعرفة التركيب الكيميائى لمعادن البلاجيوكليز. المعدن ثنائى المحور موجب أو سالب. معاملات الانكسار: ألفا (α)=١,٥٢٧- ١,٥٧٧ وبيتا (β)= ١,٥٣١-١,٥٨٥ وجاما (γ)=١,٥٣٤-١,٥٩٠. تتغير قرينة الانكسار المزدوج من ٠,٠٠٧ إلى ٠,٠١٣. الزاوية البصرية ($2V$) =٤٥-١٢٠° (أنورثيت) أو= ٧٥-١٠٢° (ألبيت).

قياس تركيب البلاجيوكليز

Determining the Composition of Plagioclase

من الصعوبة التعرف على تركيب البلاجيوكليز من العينة اليدوية ولكن يمكننا فقط التخمين بتركيبه حسب ظروف تكون الصخر الذى يحتويه من حرارة وضغط. فمثلاً فى الصخور المتحولة عالية الدرجة، نتوقع وجود التركيب الكلسي للبلاجيوكليز، بينما في الصخور المتحولة ذات التحول المنخفض، نتوقع وجود التركيب الصودى. هناك العديد من الوسائل التى تمكننا من معرفة تركيب البلاجيوكليز، ومنها قياس الوزن النوعي للمعدن بوضع حبيبات مفتتة منه فى زيوت غمس Immersion oils مختلفة الكثافة وبالمقارنة يمكن التعرف على تركيب البلاجيوكليز حيث إن لكل تركيب من تركيباته مقدار وزن نوعي معلوم (الوزن النوعى للألبيت= ٢,٦٢، بينما الوزن النوعى للأنورثيت= ٢,٧٤، وباقى معادن السلسلة تقع بينهما). ولكن الطريقة الأدق لمعرفة تركيب البلاجيوكليز هى دراسة الصفات البصرية بالقطاعات الميكروسكوبية والتى يمكن شرحها فى الخطوات التالية:



شكل ٧- ٢٦: تغير معاملات الانكسار وقرينة الانكسار المزدوج والزاوية البصرية بتغير المحتوى الأنورثيتي بسلسلة الألبيت-الأنورثيت لكل من البلاجيوكليز العالي والمنخفض الحرارة. (سميث ١٩٥٨ Smith، بوري وأخرون ١٩٦٧ .Burri et al).

أ- حاول إيجاد بلورة توأمية للبلاجيوكليز يكون فيها مستوى التوأمة {010} عمودي على مستوى مسرح الميكروسكوب. ويمكن الحصول على بلورة موجهة بشكل صحيح بتحريك أنبوبة الميكروسكوب إلى أعلى وأسفل، فلو أن مستوى التوأمة عمودي، فأنه سيظل ثابت مع تحريك أنبوبة الميكروسكوب ولو أنه مائل، فأنه سيتحرك من جانب إلى أخر. بعد الحصول على البلورة المناسبة، حرك مستوى التوأمة فى إتجاه شمال- جنوب. لو أن مستوى التوأمة عمودى، فإن جزئى التوأمة سيظهر قرينة انكسار مزدوج متساوية، أى لن يوجد إختلاف كبير بينهما (شكل ٧-٢٧ ب).

ج- حرك مسرح الميكروسكوب عكس إتجاه عقارب الساعة حتى تحصل على إنطفاء لأحد جزئى التوأم، وسجل زاوية الدوران هذه (شكل٧-٢٧أ).

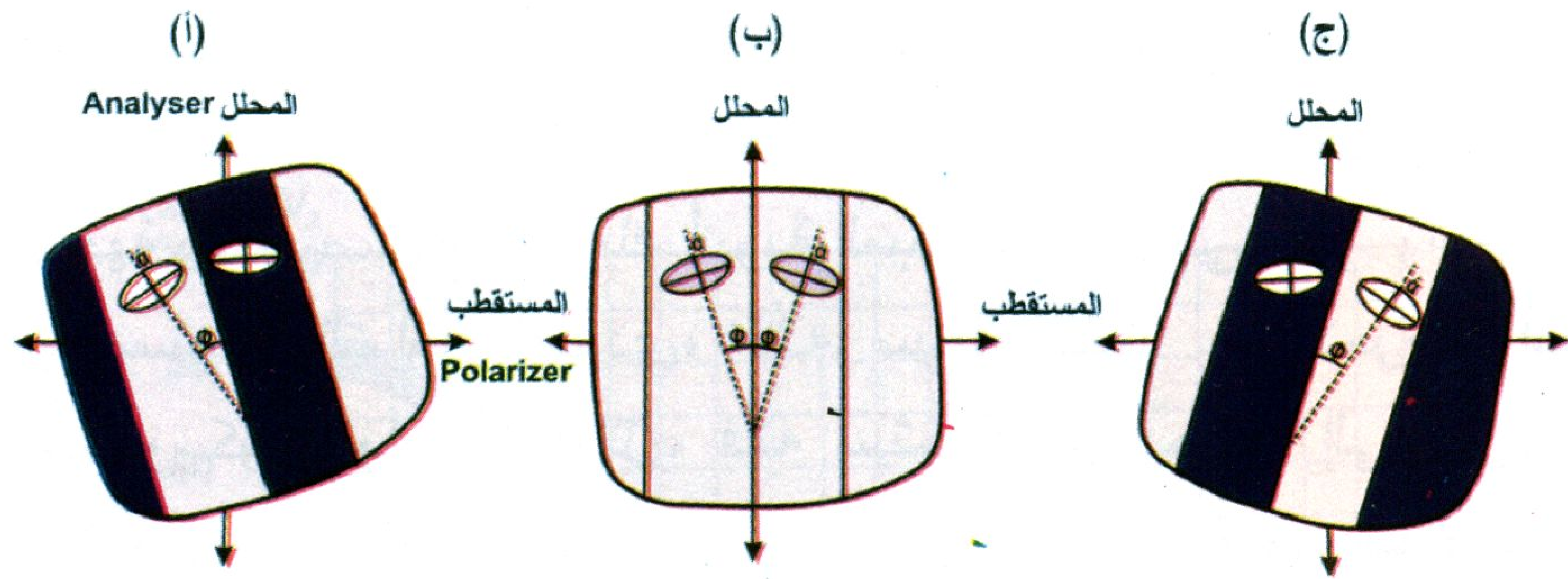
د- حرك مستوى التوأمة مرة أخرى إلى إتجاه شمال- جنوب.

هـ- حرك مسرح الميكروسكوب فى إتجاه عقارب الساعة حتى تحصل على إنطفاء لأحد جزئى التوأمة، ثم قس مقدار زاوية الدوران (شكل٧-٢٧ج).

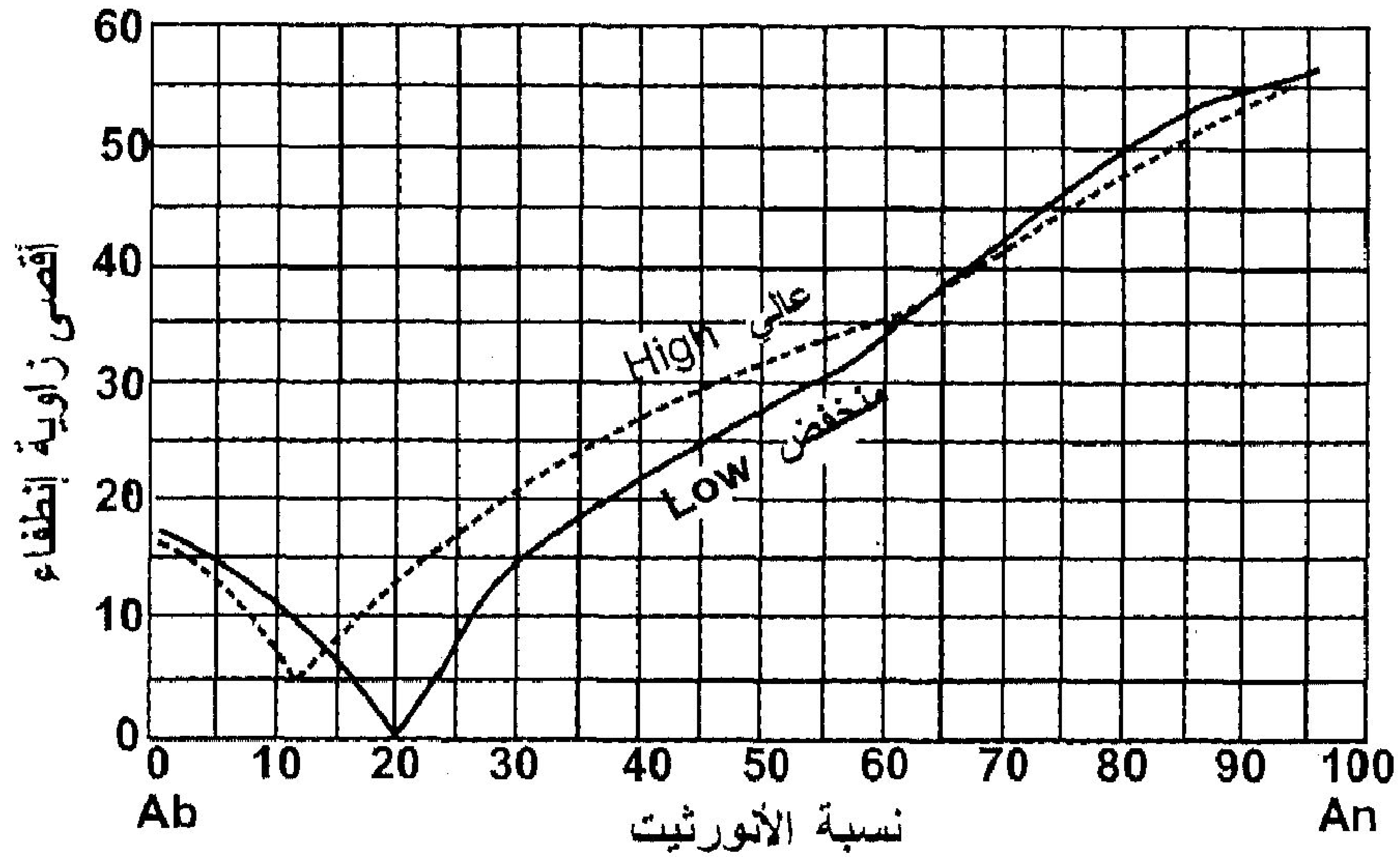
و- لو أن مقدار زاويتى الدوران التى تم قياسهما متقاربين ولا يتعدى الفرق بينهم أربع درجات، إحسب متوسطهما.

ز- كرر الخطوات (ج- و) على مجموعة من البلورات الأخرى وقس أكبر قيمة لزاوية الإنطفاء.

ح- إستخدم المخطط المبين بالشكل رقم (٧-٢٨) لقياس تركيب البلاجيوكليز بمعلومية أكبر قيمة لزاوية الإنطفاء. فى هذا الشكل، يوجد منحنين منفصلين، أحدهما يمثل البلاجيوكليز العالى (بالصخور البركانية) والأخر يمثل البلاجيوكليز المنخفض (بالصخور الجوفية). إستخدم معلوماتك عن الوضع التكتوني للصخر المحتوى على البلاجيوكليز المراد معرفة تركيبه، وحدد أى من هذه المنحنيات يمكن استخدامه.



شكل ٧-٢٧: مخطط يوضح كيفية معرفة تركيب البلاجيوكليز بدراسة الصفات البصرية بالقطاعات الميكروسكوبية.



شكل ٧-٢٨: مخطط يوضح كيفية حساب المحتوى الأنورثيتي للبلاجيوكليز بمعلومية قيمة زاوية الإنطفاء (عن توبي وكرول ١٩٧٥ Tobi and Kroll).

التواجدات والصحبة المعدنية

تتواجد مجموعة معادن البلاجيوكليز في معظم البيئات الجيولوجية، فتوجد بالصخور النارية والمتحولة والرسوبية، وكذلك بصخور النيازك وعروق المحاليل الحرمائية. يوجد الألبيت بالصخور النارية الفلسية مثل الجرانيت والرايوليت والجرانيت البيجماتيتي والجرانوديوريت والداسيت وأنواع أخرى. يوجد الأوليجوكليز بالصخور الجرانيتية. ويوجد الأنديزين بالصخور النارية

المتوسطة مثل الدايوريت والأنديزيت. ويوجد اللابرادوريت بالصخور النارية المافية مثل الجابرو والأنورثوزيت والبازلت. ويكثر وجود الأنورثيت بالصخور المتحولة عالية الدرجة. ويعتبر البيتونيت من أقل معادن البلاجيوكليز إنتشاراً ويوجد بالصخور المافيه وأيضاً بالصخور المتحولة.

الاستخدامات

تستعمل بعض أنواع معادن البلاجيوكليز كأحجار كريمة، أما اللابرادوريت والذى يتمتع بخاصية عرض الألوان، فأنه يستخدم فى صناعة أحجار الزينة. ويستعمل الألبيت فى صناعة الخزف. كما تستعمل الحبيبات الكبيرة منه فى عمل الخرسانة وأعمال السفلتة. ويمكن استخدام بدرة البلاجيوكليز فى صناعة الدهانات والبلاستيك والمطاط. كما يستعمل البلاجيوكليز الغني بالصوديوم فى صناعة الزجاج والسيراميك. وفى بعض الأحيان عندما يتواجد البلاجيوكليز كجسم نارى كبير متداخل (أنورثوزيت) فيمكن استخدامه كمصدر للألومنيوم.

أرثوكليز Orthoclase

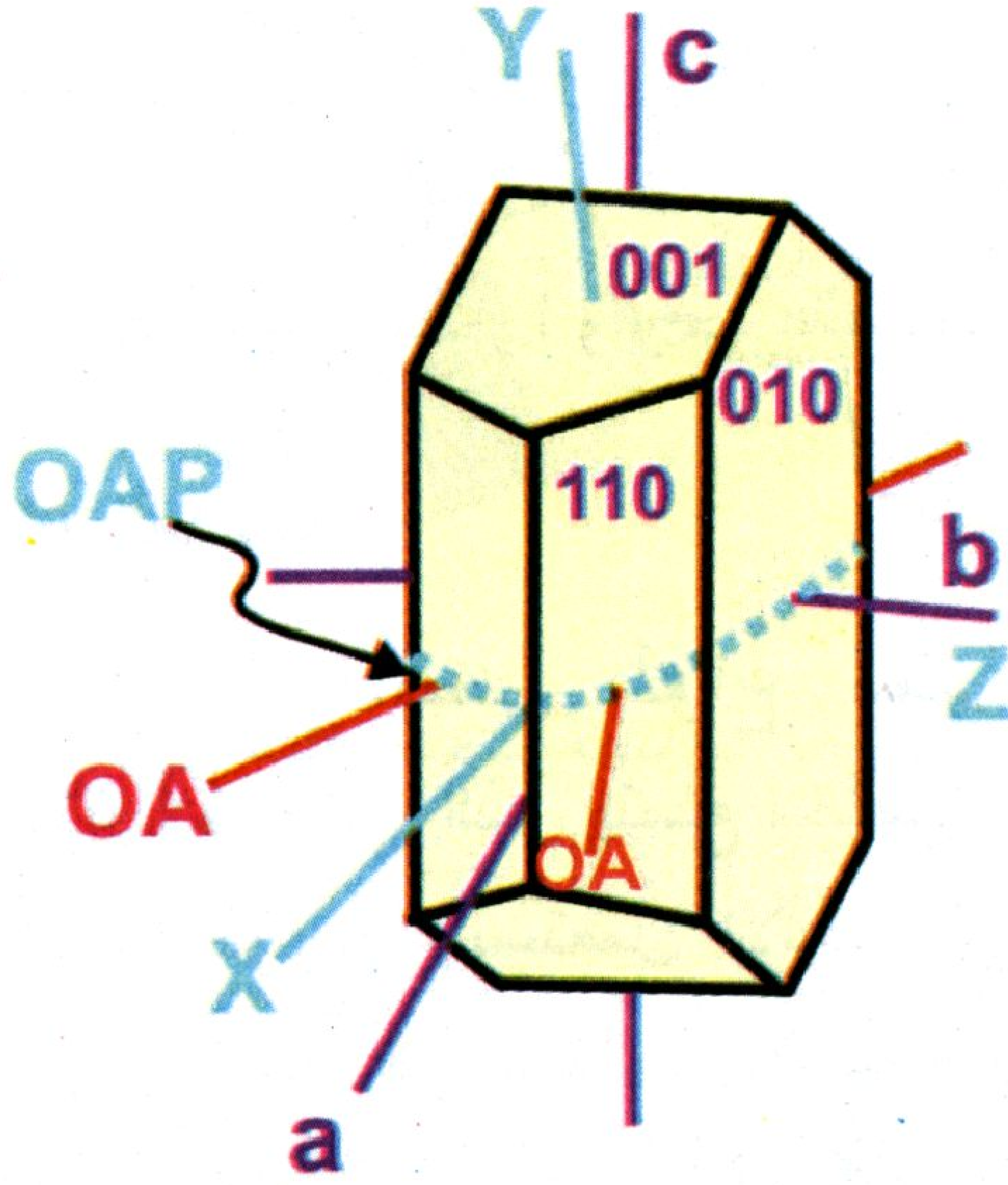


$KAlSi_3O_8$

يأتى اسم المعدن من الكلمة الإغريقية *Orthos* وتعنى زاوية قائمة وكلمة *Klasis* وتعنى ينكسر، ويشير هذا الاسم إلى الإنفصام العمودى للأرثوكليز. يعتبر الأرثوكليز أحد متعددات الشكل للفلسبار البوتاسي والذى يضم أيضاً الميكروكلين والسانيدين. يتبلور الأرثوكليز عند درجة حرارة متوسطة (أقل من السانيدين وأعلى من الميكروكلين). فعند درجة حرارة حوالى ٤٠٠°م أو أقل، يكون الميكروكلين هو الأكثر إستقراراً. وعند درجات حرارة تتراوح بين ٥٠٠ إلى ٩٠٠°م، يصبح الأرثوكليز هو الأكثر إستقراراً، بينما يكون السانيدين هو الصنف المستقر عند درجة حرارة تزيد عن ٩٠٠°م.

الصفات البلورية

يتبلور الأرثوكليز فى فصيلة الميل الواحد، تماماً مثل السانيدين ولكن يختلف فى توزيع ذرات الألومنيوم والسيليكون حيث يكونا مرتبين جزئياً وذلك لقلة درجة حرارة تبلوره عن السانيدين. يتواجد الأرثوكليز على هيئة بلورات منشورية وعمدانية (شكل ٧-٢٩). يكثر به التوأمية الإختراقية والمتعددة. تبلغ أبعاد خلية الوحدة أ= ٨,٥٦ أنجستروم، ب= ١٢,٩٩ أنجستروم، ج = ٧,١٩ أنجستروم. مجموع ما تمتلكه خلية الوحدة من ذرات (Z)=٤، مجموعة النقطة 2/m والمجموعة الفراغية *C*2/m .



شكل ٧-٢٩: العلاقة بين المحاور البلورية a, b, c ومحاور مجسم معامل الإنكسار X, Y, Z فى بلورة لمعدن الأرثوكليز، كما يظهر فى الشكل أيضاً إتجاه المحوريين البصريين OA والمستوى المحوري البصري OAP.

كيميائية المعدن

يتكون الأرثوكليز من ثلاث أكاسيد: أكسيد البوتاسيوم K_2O (حوالي ١٦,٩%) وأكسيد الألومنيوم Al_2O_3 (حوالي ١٨,٤%) وأكسيد السيليكون SiO_2 (حوالي ٦٤,٧%). يحتوى معظم الأرثوكليز على نسبة من الصوديوم والتى تحل محل البوتاسيوم، حيث أن هناك سلسلة محلول صلب كاملة بين الألبيت ($NaAlSi_3O_8$) والأرثوكليز. وفى بعض الأحيان يحتوى الأرثوكليز على نسبة من الكالسيوم والذي يحل محل الصوديوم ($Ca,Al \rightarrow Na,Si$).

الصفات الفيزيائية والبصرية

يتغير اللون مابين الأبيض والأصفر إلى درجات من اللون الأحمر والبرتقالي والبني. البريق زجاجي إلى مطفي في حالة البلورات المجواه. المخدش أبيض. تكون البلورات عادةً معتمة ومن الممكن أن تكون أيضاً نصف شفافة ونادراً ما تكون شفافة. الصلادة= ٦ والإنفصام في إتجاهين مكوناً منشور قائم الزاوية، أحدهما كامل بالمستوى {001} وجيد بالمستوى {010}. توجد أحياناً صعوبة في التعرف على مستويي الإنفصام بالقطاعات الميكروسكوبية وذلك بسبب التضاريس المنخفضة للأرثوكليز وطمس معالمه من جراء عمليات التجوية. المكسر محاري أو غير مستوي. الوزن النوعي= ٢,٥٣- ٢,٥٦. قرينة الانكسار المزدوج منخفضة وتشبه الكوارتز. يمكن تمييزه عن السانيدين بقيمة الزاوية البصرية ($2V$) وعن الميكروكلين بالتوأمية. المعدن ثنائي المحور سالب، وتبلغ معاملات الانكسار ألفا (α)= ١,٥٢١ وبيتا (β)= ١,٥٢٥ وجاما (γ)= ١,٥٢٨ وقرينة الانكسار المزدوج (δ)= ٠,٠٠٧ والزاوية البصرية ($2V$)= ٦٠°- ٦٥°.

التواجدات والصحبة المعدنية

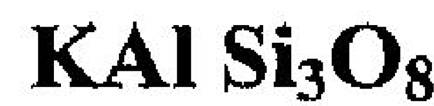
الأرثوكليز من المعادن الواسعة الإنتشار، فيوجد بالصخور النارية الفلسية مثل الجرانيت والسيانيت والرايوليت وبعروق البيجماتيت. كما يوجد بالصخور الرسوبية مثل الأركوز وفي بعض الأحيان بالحجر الرملي والكونجلوميرات. كما يوجد بالصخور المتحولة مثل الشيست والنيس. ومن أهم المعادن المصاحبة للأرثوكليز: الكوارتز والميكا والألبيت. ينتشر الأرثوكليز بأماكن عديدة على مستوى العالم، ولكن هناك بعض الأماكن المتميزة، ومنها: مدغشقر حيث توجد البلورات الصفراء الشفافة من الأرثوكليز بالبيجماتيت، منطقة كارلسباد بتشيكوسلوفاكيا والمشهورة ببلورات توأمية كارلسباد وتأتي البلورات التوأمية من النوع بافينو من منطقة بافينو بإيطاليا. كما توجد بلورات كاملة وكبيرة بمنطقة ديسينتيس Disentis

بسويسرا. ومن البلاد الأخرى المتواجد بها بلورات مميزة للأرثوكليز: روسيا وتنزانيا والولايات المتحدة الأمريكية والنمسا وإنجلترا.

الاستخدامات

يعتبر الأرثوكليز من المعادن الهامة فى صناعة الزجاج والسيراميك. وتستعمل البلورات التى يكثر بها التوأمية كأحجار كريمة.

الميكروكلين Microcline

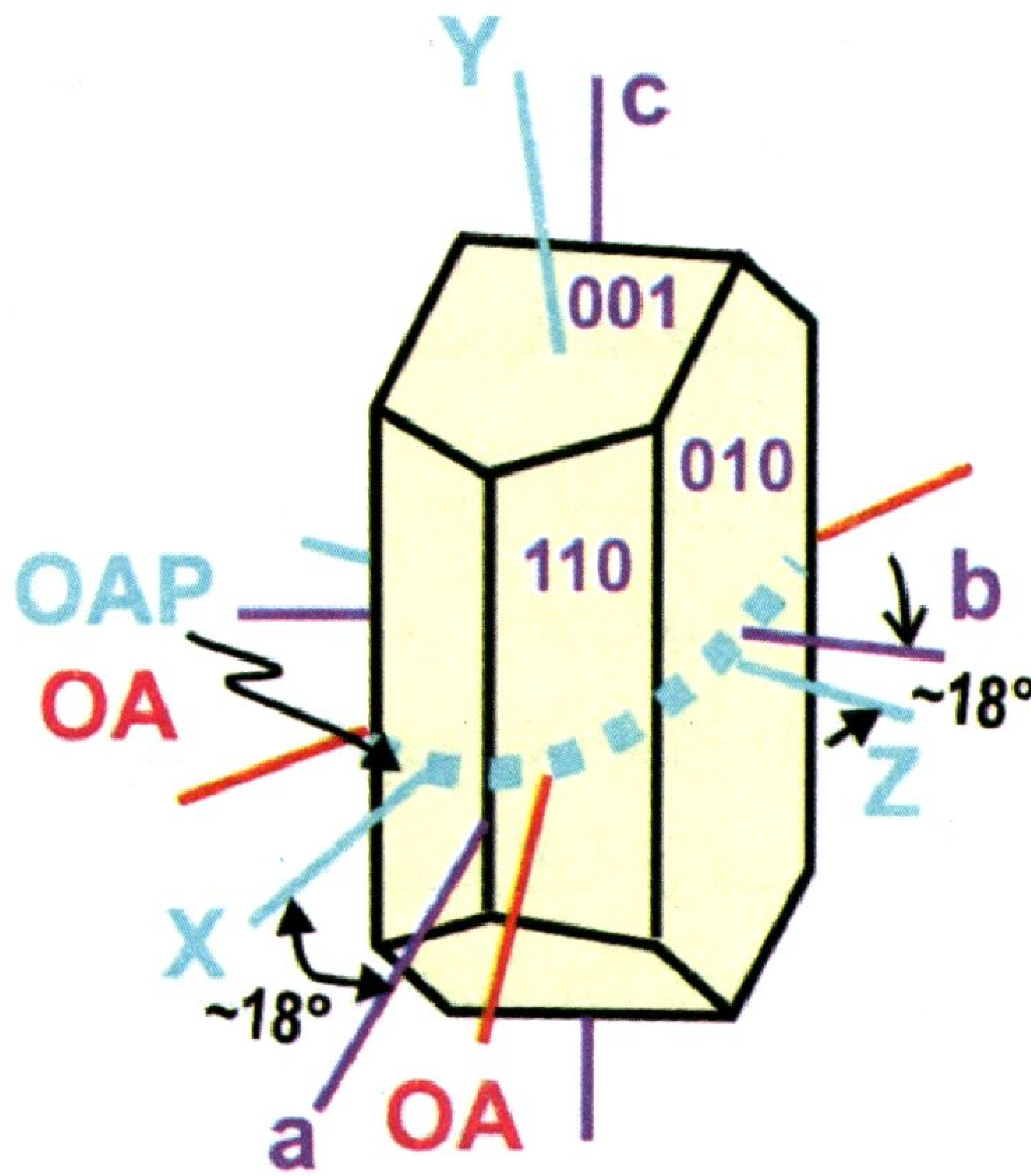


$KAlSi_3O_8$

يرجع اسم المعدن إلى الكلمة الإغريقية *mikro* وتعنى بسيط وكلمة *kleinen* وتعنى ينحرف، ويشير الاسم إلى الإنحراف البسيط لإنفصام المعدن عن الزاوية ٩٠°.

الصفات البلورية

يتبلور المعدن بفصيلة الميول الثلاثة، وتبلغ أبعاد خلية الوحدة: أ= ٨,٥٦، ب= ١٢,٩٧، ج= ٧,٢١ أنجستروم. تبلغ الزوايا بين المحورية ألفا (α)= ٨٩,٠٧° وبيتا (β)= ١١٥,٩٧° وجاما (γ) = ٩٠,٨٧°. عدد الذرات بخلية الوحدة (Z)= ٤. توجد البلورات على هيئة صفائحية أو كتلية عديمة الأوجه أو كاملة الأوجه (شكل ٧-٣٠). البلورات توأمية وتتقاطع مستويات التواءم بزاوية تقترب من ٩٠°.



شكل ٧-٣٠: العلاقة بين المحاور البلورية a, b, c ومحاور مجسم معامل الإنكسار X, Y, Z فى بلورة لمعدن الميكروكلين، كما يظهر فى الشكل أيضاً إتجاه المحوريين البصريين OA والمستوى المحوري البصري OAP.

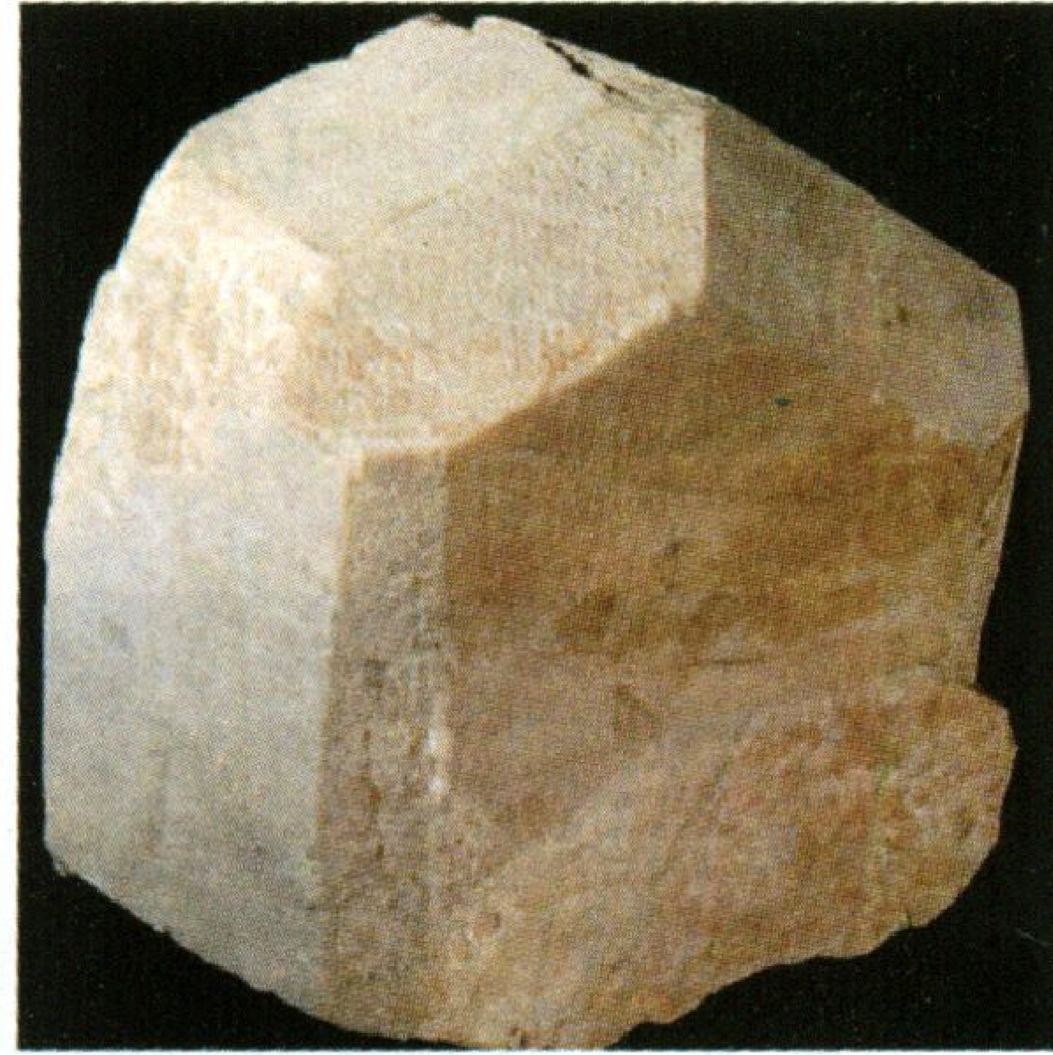
كيميائية المعدن

يتشابه التركيب الكيميائى للميكروكلين مع معدن الأرثوكليز (جدول رقم ٧-٢).

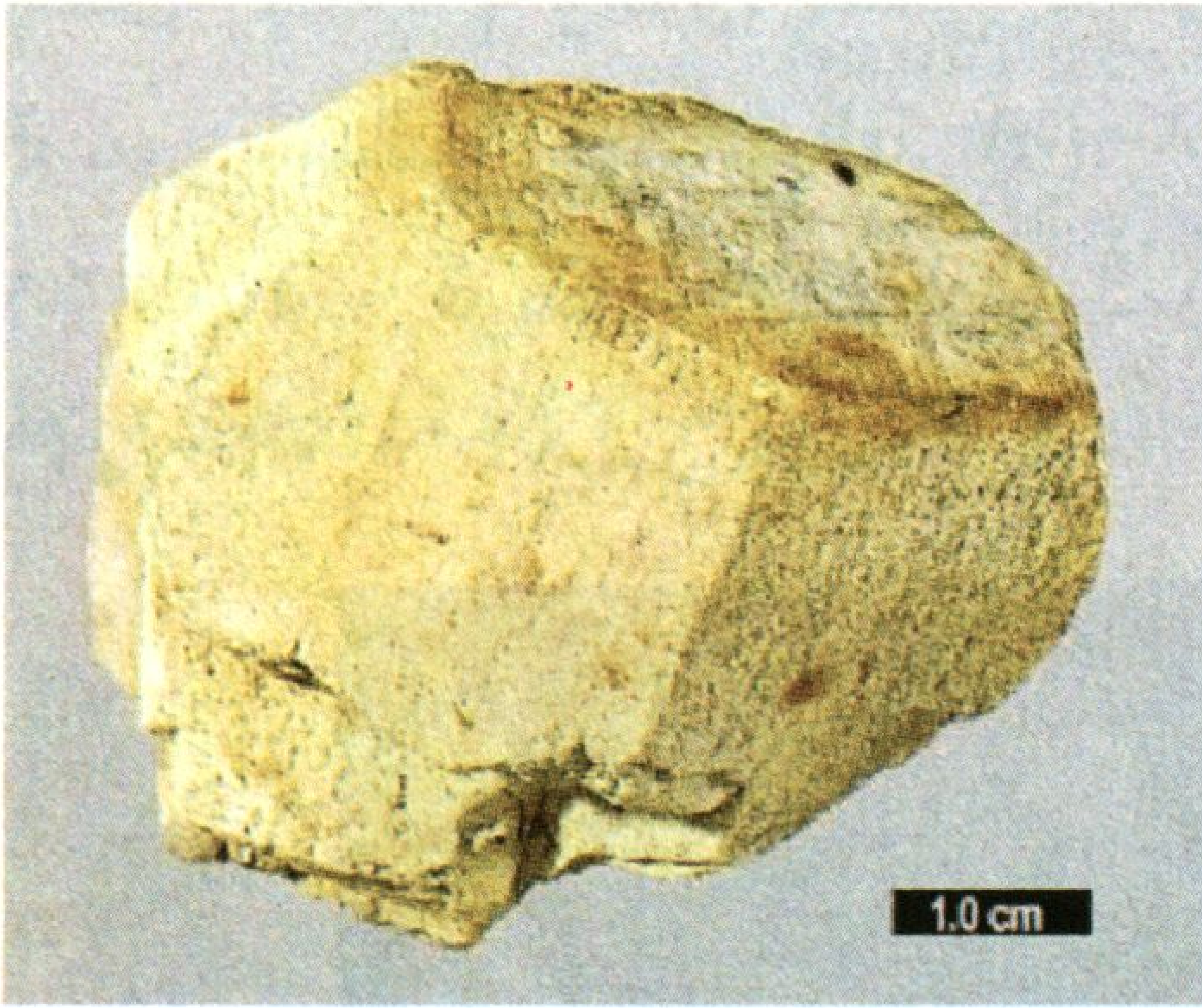
الصفات الفيزيائية والبصرية

اللون أبيض أو أصفر أو وردى أو أخضر وأحياناً يكون المعدن أزرق ويعرف فى هذه الحالة باسم أمازونيت Amazonite (شكل ٧-٣١ج). البريق

(أ)



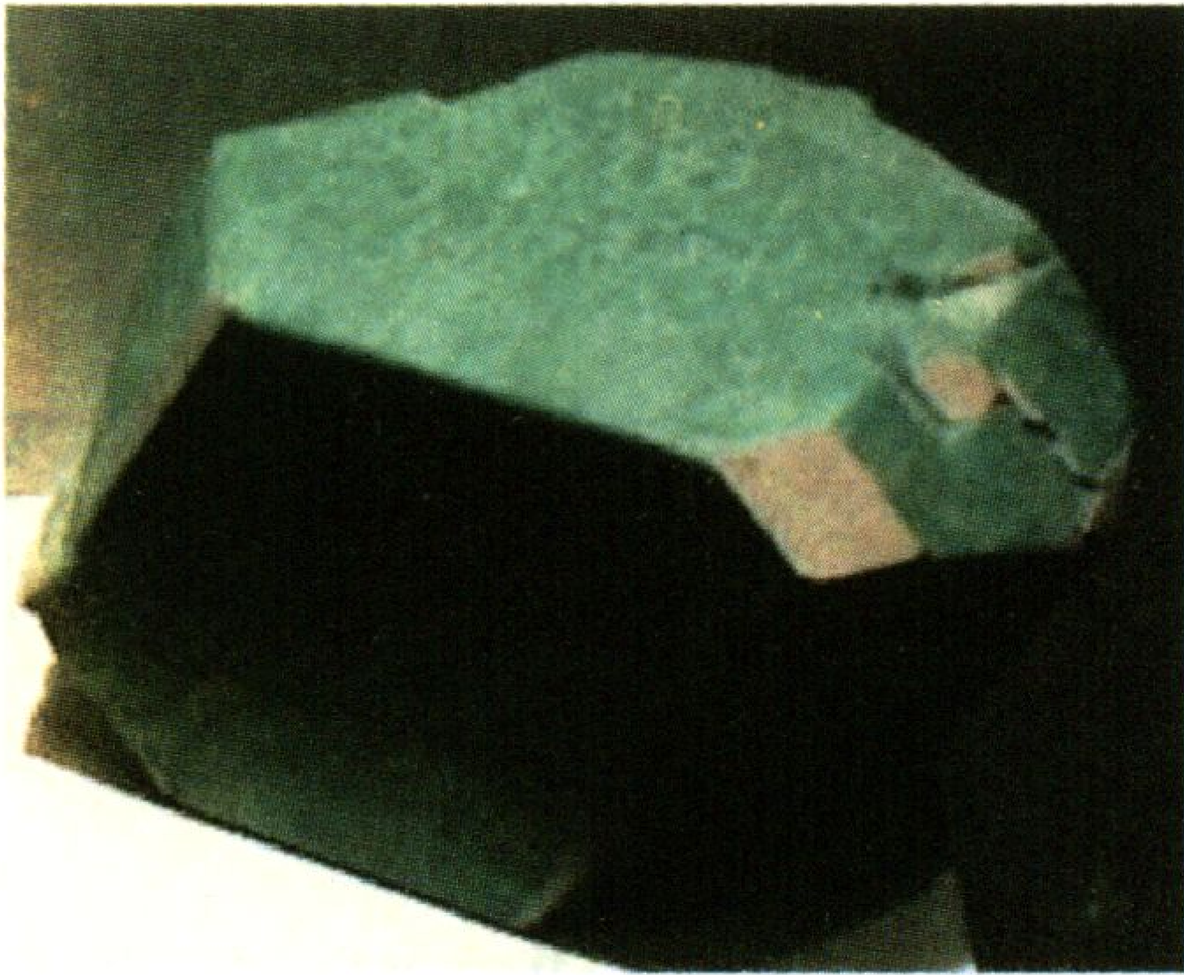
(ب)



(ج)

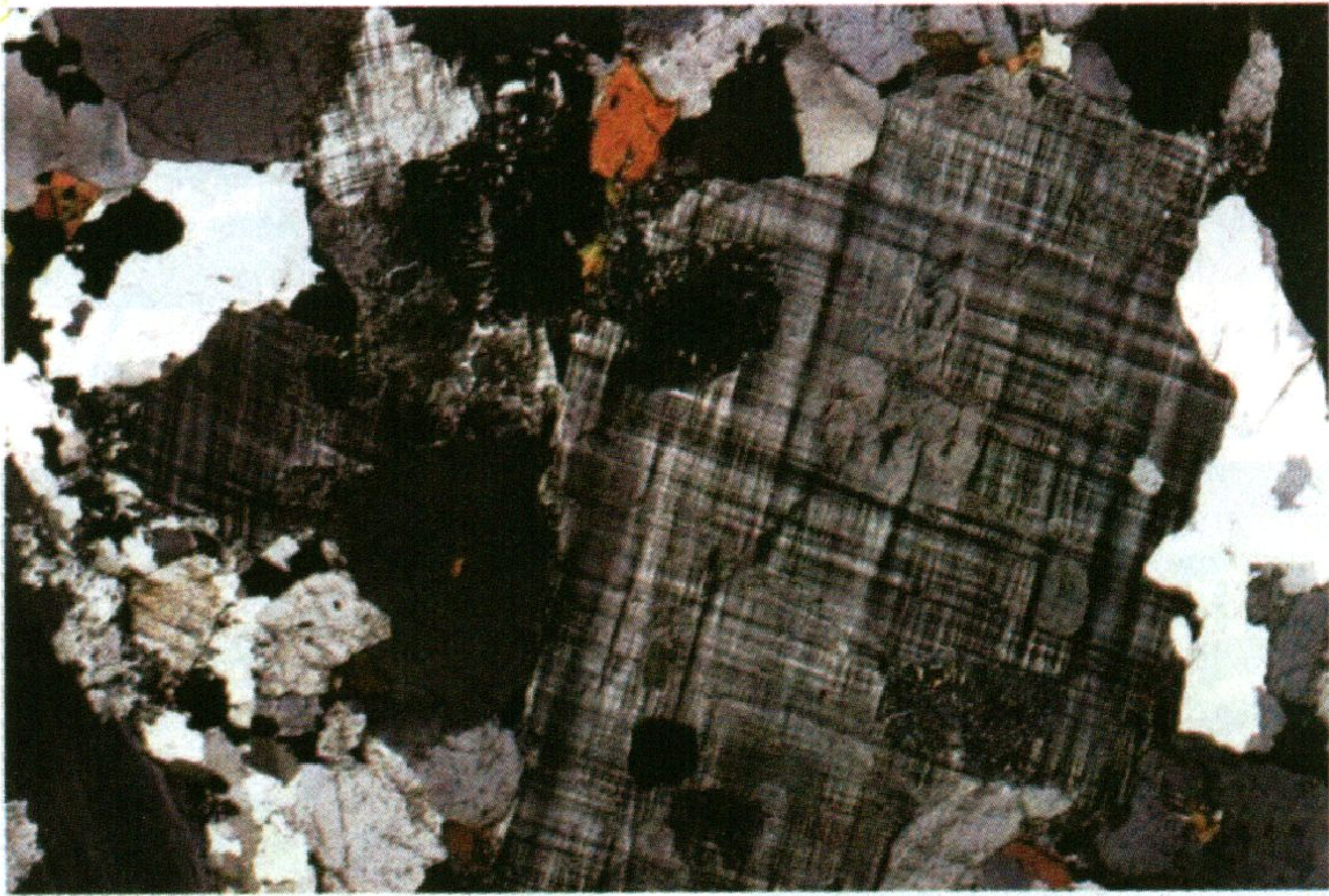


(د)



شكل ٧-٣١: (أ) ميكروكلين وردي اللون من منطقة بيدفورد، نيويورك (www.nysam.org/nymineral.cfm? number=hr75.0.960). (ب) ميكروكلين أصفر اللون من جبل موات Moat Mountain، نيو هامبشاير، الولايات المتحدة الأمريكية (webmineral.com/specimens/picshow.php?id=2133). (ج) ميكروكلين ازرق اللون (أمازونيت) على ألبيت (أبيض اللون) (www.minclassics.com/lakegeorge.html). (د) ميكروكلين أخضر اللون من اليابان (hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Minerals/...).

زجاجي إلى لؤلؤى وفى حالة البلورات المجواه يكون مطفى. المخدش أبيض. المعدن نصف شفاف أو نصف شفاف إلى معتم. الصلادة= ٦. الإنفصام فى إتجاهين، أحدهما كامل {001} والأخر جيد {010} وبينهما زاوية تقرب من ٩٠° (٣٠-٨٩°). الوزن النوعي= ٢,٥. يصعب تحت الميكروسكوب تمييز مستويي الإنفصام وذلك لإنخفاض تضاريس المعدن. يمكن تمييز الميكروكلين عن الأرثوكليز تحت الميكروسكوب بالشكل الشبكي للتوأمية تحت المستقطب والمحلل والمكون من خطوط طولية وعرضية متقاطعة بزاوية قائمة تقريباً (شكل ٧-٣٢) والذى يسمى بشكل الترتان Tartan Pattern. المعدن ثنائى المحور سالب حيث: ألفا (α)=١,٥١٨ وبيتا (β) = ١,٥٢٤ وجاما (γ)= ١,٠٥٢٨. قرينة الانكسار المزدوج (δ)=٠,٠١٠ والزاوية البصرية ($2V$)=٧٧°- ٨٤°.



شكل ٧-٣٢: الشكل الشبكي المميز للتوأمية في الميكروكلين (منشوري نيكول).

التواجدات والصحبة المعدنية

كما هو الحال فى الأرثوكليز، ينتشر الميكروكلين بالصخور النارية الفلسية مثل الجرانيت والسيانيت والريولايت والبيجماتيت، وكذلك بالصخور الرسوبية (الأركوز) وبالصخور المتحولة. ممكن أن يتكون الميكروكلين من السانيدين والأرثوكليز بسهولة مع عمليات التبريد. يعتبر الكوارتز والميكا من أهم المعادن المصاحبة. يكثر وجوده بأماكن عديدة فى العالم، ومن أهمها:

منطقة كولورادو بالولايات المتحدة الأمريكية والنرويج ومدغشقر والبرازيل والهند وروسيا.

الاستخدامات

يستخدم فى صناعة الزجاج والسيراميك. تستعمل البلورات التوأمية والزرقاء اللون (أمازونيت) كأحجار كريمة وأحجار زينة. وهناك استخدام غير شائع للميكروكلين كمادة صنفرة.

السانيدين Sanidine



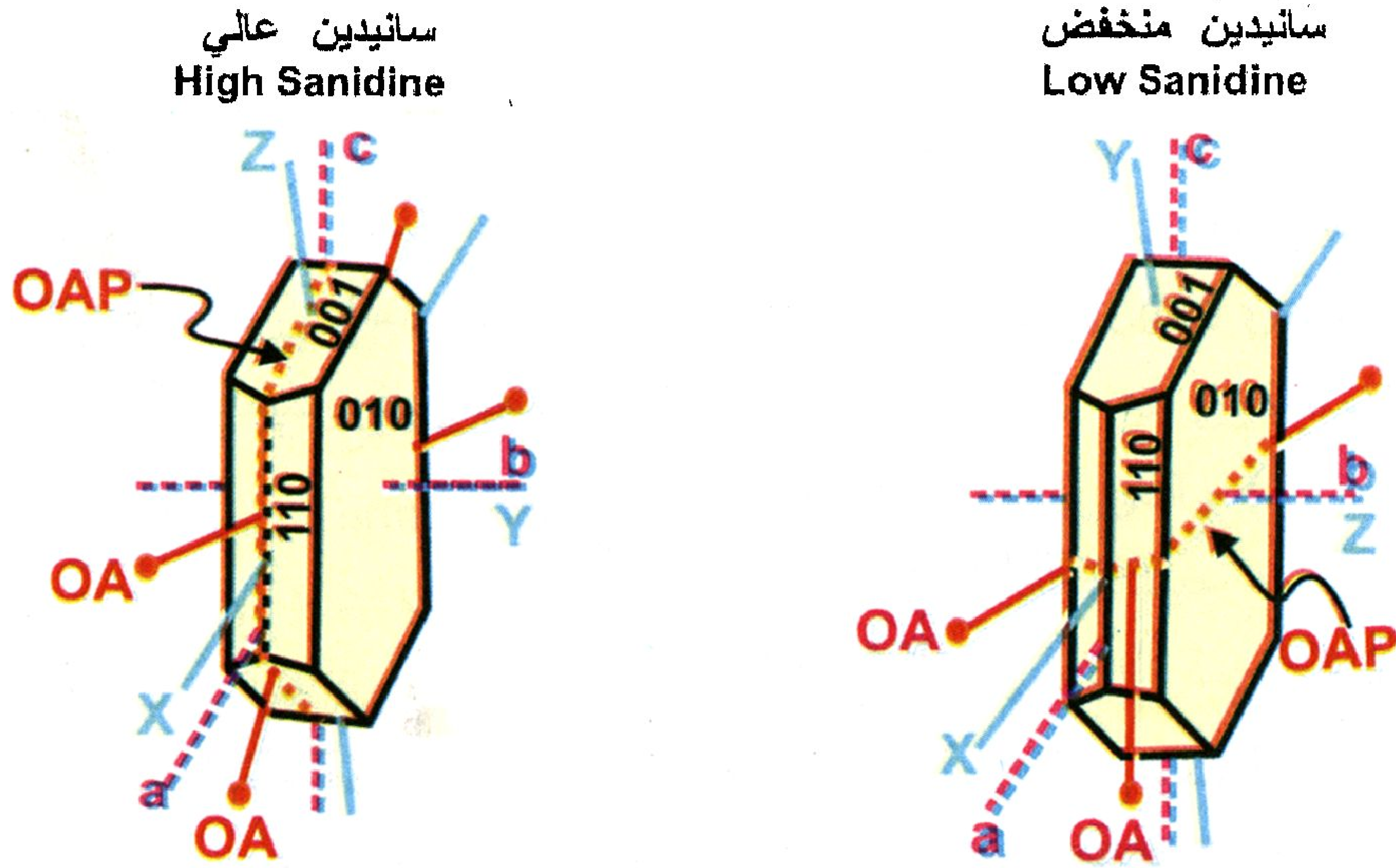
يأتى الاسم من الكلمة الإغريقية *sanis* وتعنى لوح وكلمة *idios* وتعنى مظهر، ويرجع ذلك إلى الهيئة المميزة للمعدن.

الصفات البلورية

يتبلور المعدن فى فصيلة الميل الواحد، وتبلغ أطوال خلية الوحدة: أ= ٨,٥٦، ب= ١٣,٠٣، ج= ٧,١٧ أنجستروم وتبلغ الزاوية بين المحورية (β)= ١١٦,٥٨° ومجموع الذرات بخلية الوحدة (Z) =٤. مجموعة النقطة 2/m والمجموعة الفراغية *C2/m*. توجد البلورات عادةً على هيئة منشورية (شكل ٧-٣٣)، وأحياناً صفائحية أو مستطيلة. يكثر بالمعدن التوأمية من النوع كارلسباد.

كيميائية المعدن

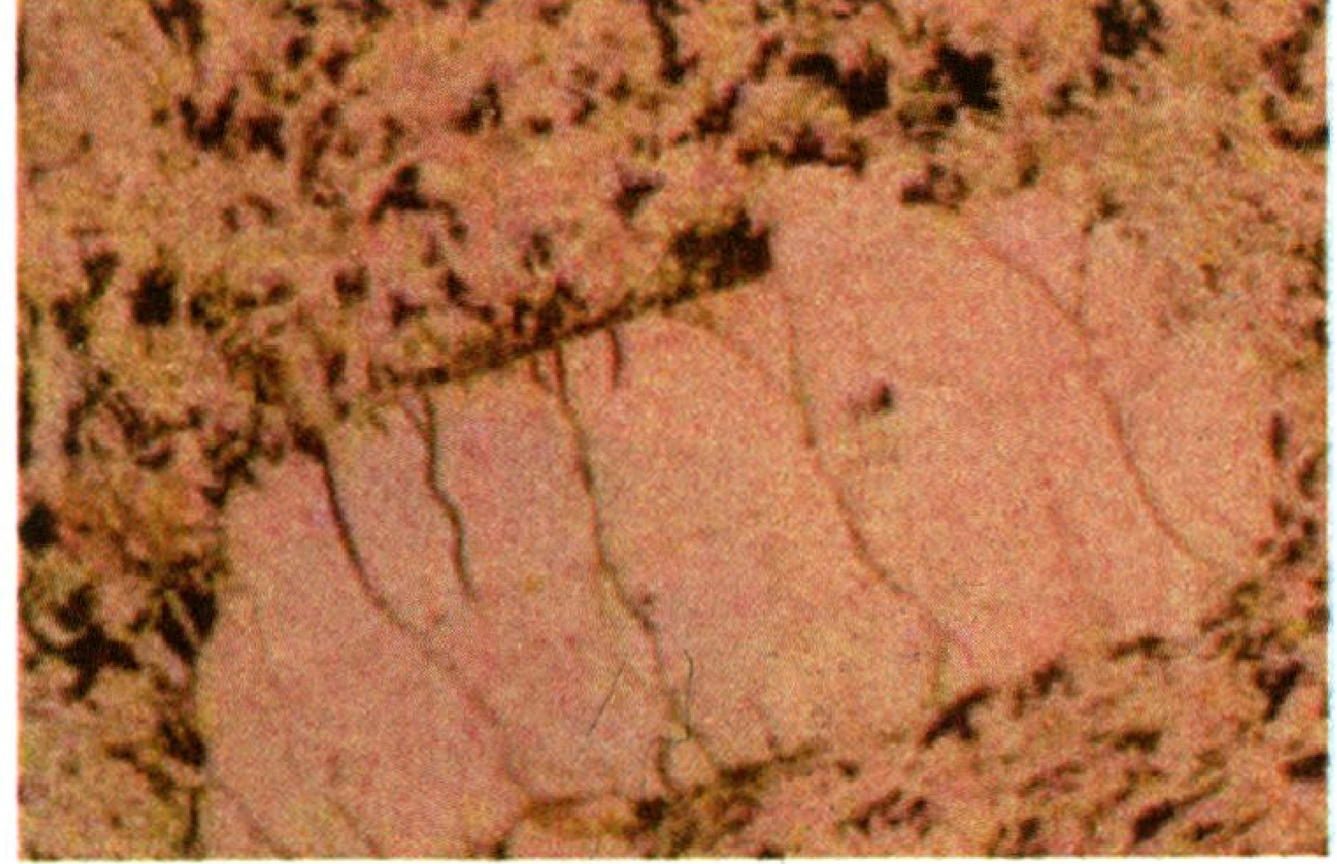
توجد سلسلة كاملة من محلول صلب بين الألبيت والسانيدين عند درجات الحرارة المرتفعة، حيث يحل الصوديوم محل البوتاسيوم. يوضح جدول رقم (٧-٢) مثال للتركيب الكيميائى للسانيدين.



شكل ٧-٣٣: العلاقة مابين المحاور البلورية a, b, c ومحاور مجسم معامل الإنكسار X, Y, Z فى بلورة لمعدن السانيدين، كما يظهر فى الشكل أيضاً إتجاه المحوريين البصريين OA والمستوى المحوري البصري OAP .

الصفات الفيزيائية والبصرية

المعدن أبيض اللون أو أصفر أو درجات شاحبة من ألوان أخرى. البريق زجاجي أو مطفى فى حالة البلورات المجواه. المخدش أبيض. البلورات شفافة إلى نصف شفافة. الصلادة= ٦ والإنفصام جيد فى إتجاهين بينهما زاوية قدرها ٩٠° تقريباً. المكسر محارى أو غير مستوى. الوزن النوعي= ٢,٥٣- ٢,٥٦. تحت الميكروسكوب، يشبه السانيدين معدن الأرثوكليز (شكل ٧-٣٤) ولكن يميزه الزاوية البصرية والتى تكون أقل فى حالة السانيدين (جدول ٧-٤). المعدن ثنائى المحور سالب وتبلغ معاملات الانكسار ألفا (α)= ١,٥٢١ وبيتا (β)= ١,٥٢٥ وجاما (γ)=١,٥٢٨ وقرينة الانكسار المزدوج (δ)= ٠,٠٠٧. وتختلف الزاوية البصرية حسب البنية البلورية، ففى حالة السانيدين المنخفض تساوى ٠- ٤٠° وفى حالة السانيدين العالي High sandine تساوى ٠- ٤٧°.

شكل ٧-٣٤: صورة ميكروسكوبية للسانيدين. (أ) بالضوء المستقطب، (ب) بمنشوري نيكول.

جدول ٧- ٤: مقارنة لأهم الصفات الفيزيائية والبصرية لمعادن الفلسبار البوتاسى.

الصفة	الأرثوكليز	الميكروكلين	السانيدين
الزاوية البصرية	٦٠-٦٥°	٧٧-٨٤°	٠- ٤٠° ٠-٤٧°
قرينة الانكسار المزدوج	٠,٠٠٧	٠,٠١٠	٠,٠٠٧
التوأمية	بسيطة -	متقاطعة أو شبكية	نوع كارلسباد
الوزن النوعي	٢,٥٣- ٢,٥٦	٢,٥	٢,٥٣-٢,٥٦
الإنفصام	كامل ومتقاطع بزاوية قائمة	فى إتجاهين ومتقاطع بزاوية حوالي ٩٠,٦°	جيد فى إتجاهين بينهما زاوية قائمة
الصلادة	٦		
الأسطح المجواه تحت الميكروسكوب	تظهر		

التواجدات والصحبة المعدنية

ينتشر السانيدين بالصخور النارية الفلسية والتى تعرضت لظروف تبريد سريعة. فى حالة التبريد البطئ، فأنه يتحول إلى أرثوكليز أو ميكروكلين. يتواجد كبلورات كبيرة Phenocryst بصخور التراكيت والرايوليت كما يوجد

بصخور التحول التلامسي عالي الدرجة (سحنة السانيدينيت). من المعادن المصاحبة: الكوارتز والميكا والبلاجيوكليز. من أهم أماكن تواجده: ألمانيا وإيطاليا ومنطقة كولورادو ونيومكسيكو بالولايات المتحدة الأمريكية وروسيا وأماكن عديدة أخرى.

الاستخدامات

تستخدم الأنواع التوأمية منه كحجر كريم.

مجموعة معادن الفلسباثويد Feldspathoid Mineral Group

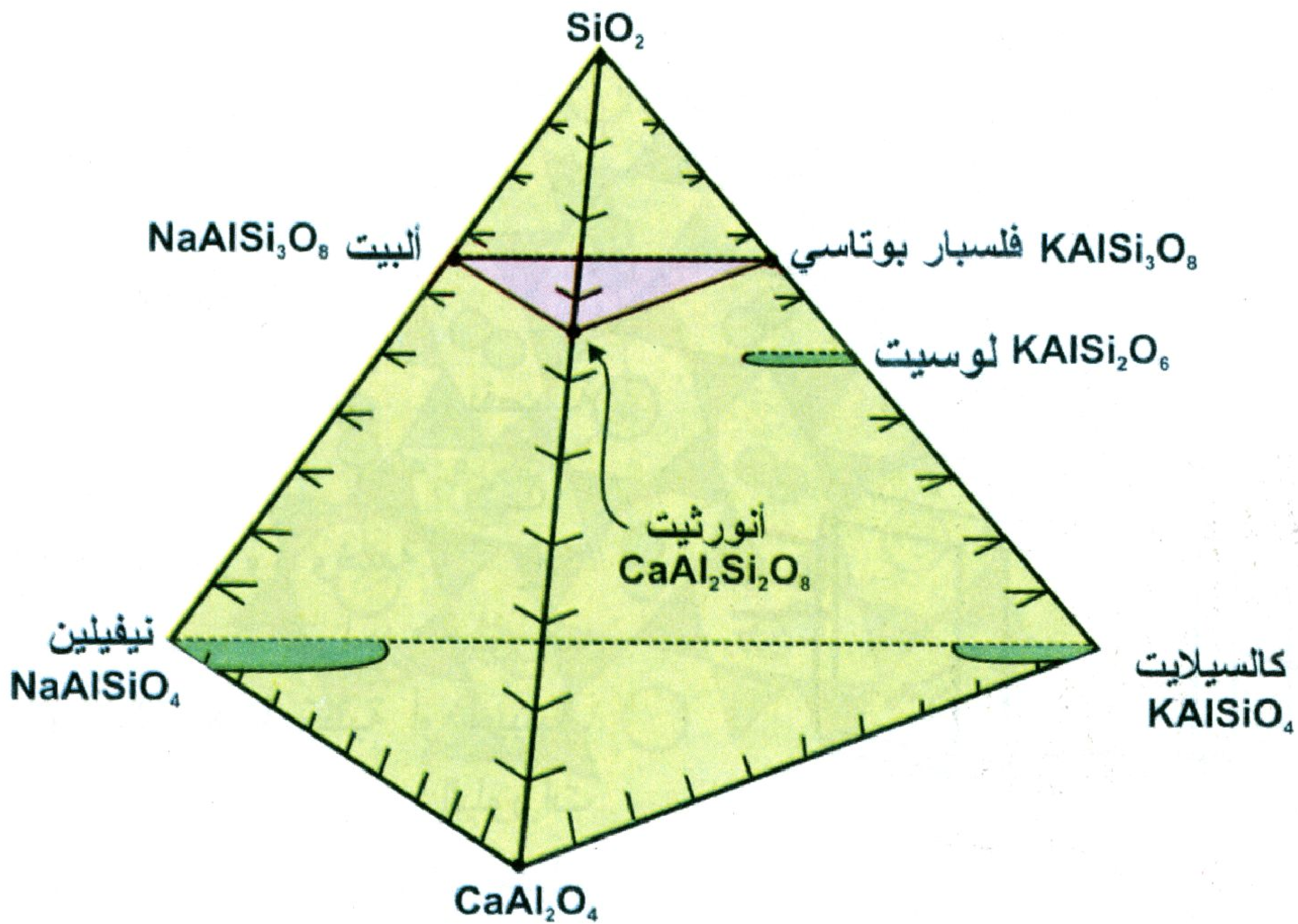
تتكون معادن الفلسباثويد بصفة أساسية من سيليكات ألومنيومية للبوتاسيوم والصوديوم والكالسيوم وهي في ذلك تشبه مجموعة معادن الفلسبار ولكن يكمن الإختلاف الرئيسي في كمية السيليكا وبعض الخصائص الأخرى الموضحة فى الجدول رقم (٧-٥).

جدول ٧-٥: الإختلافات الرئيسية بين مجموعة الفلسباثويد ومجموعة الفلسبار.

الصفة	مجموعة الفلسباثويد	مجموعة الفلسبار
التضاريس	تضاريس منخفضة	تضاريس منخفضة إلى متوسطة
الصفات البصرية	أحادى المحور(موجب او سالب) وأحياناً أيزوتروبي	ثنائى المحور (موجب أوسالب)
تواجده مع الكوارتز	لايوجد مع الكوارتز	يوجد غالباً مع الكوارتز
التوأمية	توأمية مركزية Concentric	توأمية البلاجيوكليز والفلسبار البوتاسى
أنسجة فصل المحاليل Exsolution Texture	لا يوجد	يوجد كالنسيج البيرثيتي والأنتيبيرثيتي وغيرهما
الوزن النوعي	أقل من ٢,٥	أكثرمن ٢,٥
نسبة الألومنيوم إلى السيليكون Si:Al	١:١	تقريباً ٣:١

تضم مجموعة الفلسباثويد العديد من المعادن، ومن أهمها وأكثرها شيوعاً:

اللوسيت	Leucite	$KAlSi_2O_6$	فصيلة الرباعى (حرارة عالية)/المكعب
نيفيلين/كالسيلايت	Nepheline/Kalsilite	$(Na,K)AlSiO_4$ / $K_4Al_4Si_4O_6$	السداسى
صوداليت	Sodalite	$Na_8(Al\,SiO_4)_6\,Cl_2$	المكعب
لازوريت	Lazurite	$(Na,Ca)_8(AlSiO_4)_6\,(SO_4,S,Cl)_2$	المكعب



شكل ٧-٣٥: تركيب معادن الفلسبار والفلسباثويد (بالنسبة الجزيئية Molecular percentage) بنظام النيفيلين-الكالسيلايت-الكوارتز.

وتتميز معادن مجموعة الفلسباثويد بعدة صفات، منها:

١-جميع معادنها عبارة عن سيليكات الومنيومية مع واحد أو أكثر من الأيونات القلوية الكبيرة (مثل الصوديوم والبوتاسيوم) أو الأيونات القلوية الأرضية Alkaline-earth ions (مثل الكالسيوم والباريوم) (شكل ٧-٣٥).

٢- تتواجد جميعها فى الصخور النارية الفقيرة فى السيليكا، ولا تتواجد مع الكوارتز.

٣- تقع صفاتها الفيزيائية والكيميائية بين صفات الفلسبار والزيوليت.

٤- تتكون بنيتها البلورية من هيكل متشابك يحتوى على الأيونات القلوية السابق الإشارة لها فى فراغات هذه البنية.

النيفيلين Nepheline

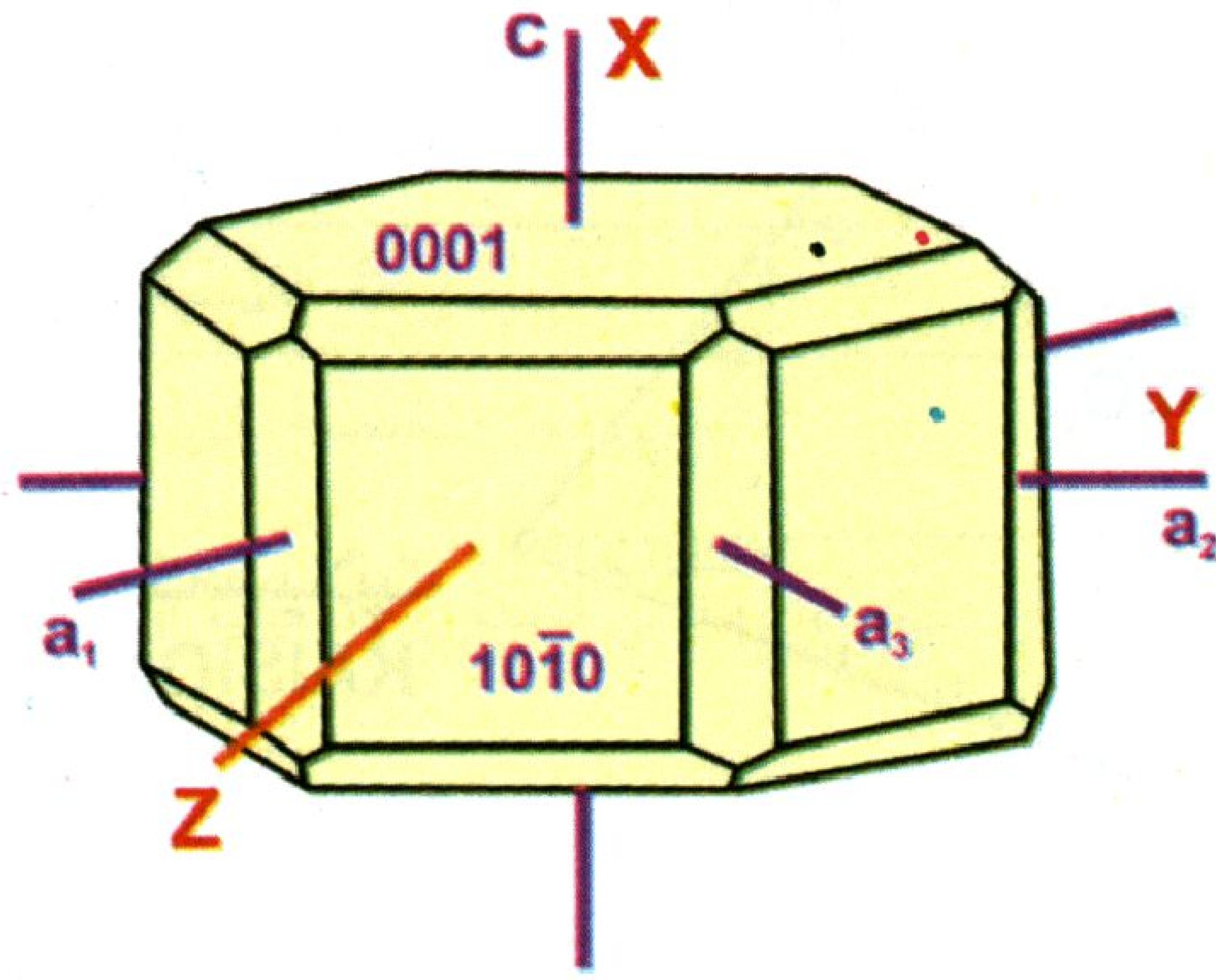


$(Na,K)Al\ SiO_4$

يأتى اسم النيفيلين من الكلمة الإغريقية *nephele* والتى تعنى سحابه، مشيراً إلى السحابة الظاهرة عند غمسه فى أحماض قوية.

البنية البلورية

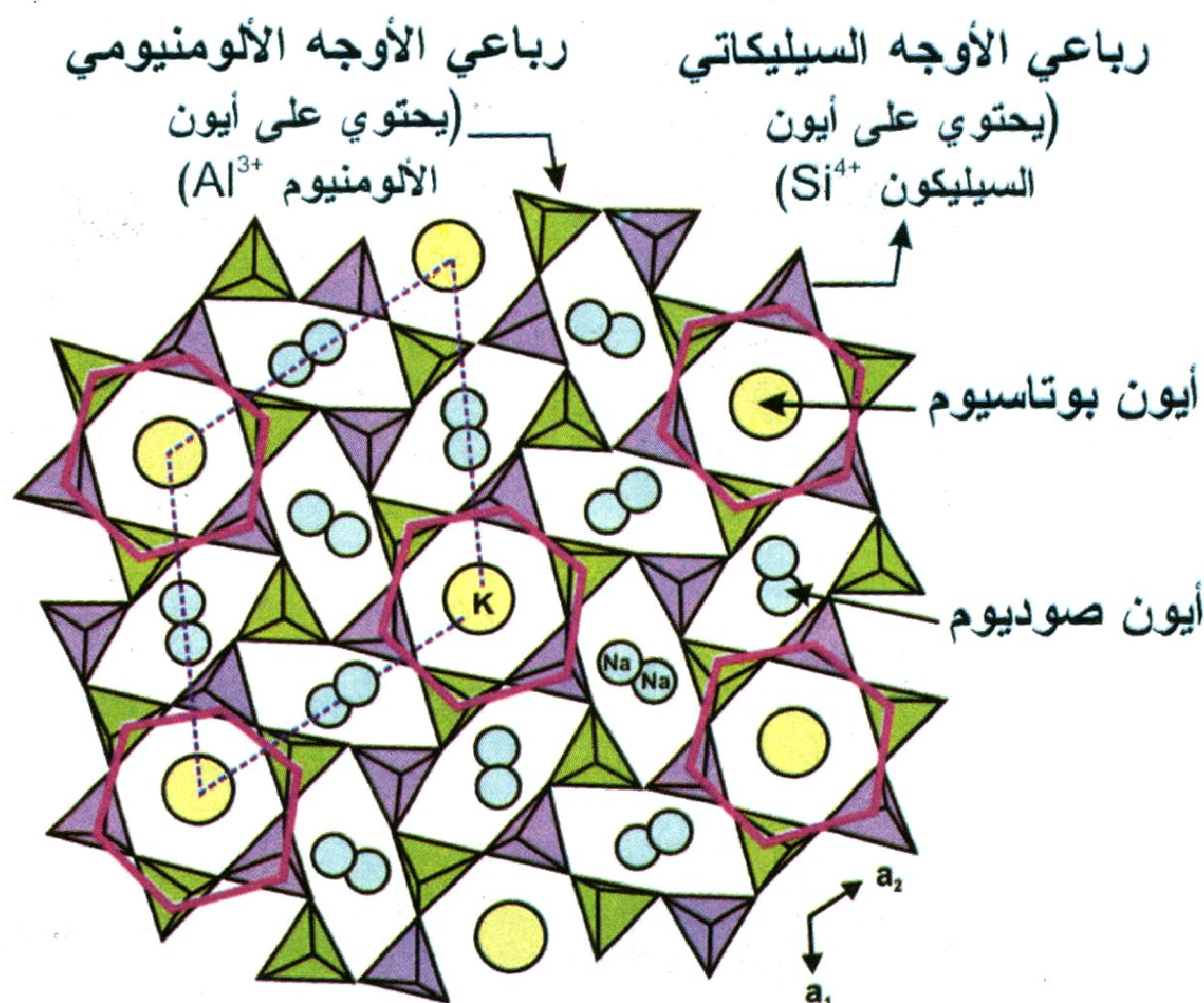
يتبلور المعدن بفصيلة السداسي، حيث: أ= ٩,٩٩٣، ج = ٨,٣٧٤ أنجستروم ونسبة أ : ج = ١: ٠,٨٣٦. تتواجد بلورات المعدن على هيئة كتلية أو حبيبية. كما توجد بعض البلورات المنشورية والعمدانية ذات مقطع عرضي سداسي (شكل ٧-٣٦). من الممكن أن تتواجد البلورات على شكل توأمى ولكن يصعب رؤيتها بالعين المجردة أو تحت الميكروسكوب العادي.



شكل ٧-٣٦: العلاقة بين المحاور البلورية a_1, a_2, a_3, c ومحاور مجسم معامل الانكسار X, Y, Z فى بلورة لمعدن النيفيلين.

تتشابه البنية البلورية للنيفيلين مع تلك لمعدن الترديميت، حيث تتكون من طبقات متبادلة من رباعيات الأوجه السيليكاتية والألومنيومية (AlO_4,SiO_4) مرتبة على شكل حلقات، كما تتخذ رباعيات الأوجه إتجاهات متبادلة لأعلى ولأسفل (شكل ٧-٣٧)، وتحتوى رباعيات الأوجه المتجهة

لأعلى على أيون السيليكون Si^{4+}، بينما تحتوى رباعيات الأوجه المتجهة لأسفل على أيون الألومنيوم Al^{3+}. تشترك وحدة رباعى الأوجه المتجهة لأعلى مع وحدة رباعى الأوجه المتجهه لأسفل بالطبقة التى تعلوها عن طريق أنيونات الأكسجين. تشغل كاتيونات الصوديوم والبوتاسيوم منتصف الحلقات السداسية من رباعيات الأوجه.



شكل ٧-٣٧: البنية البلورية لمعدن النيفيلين.

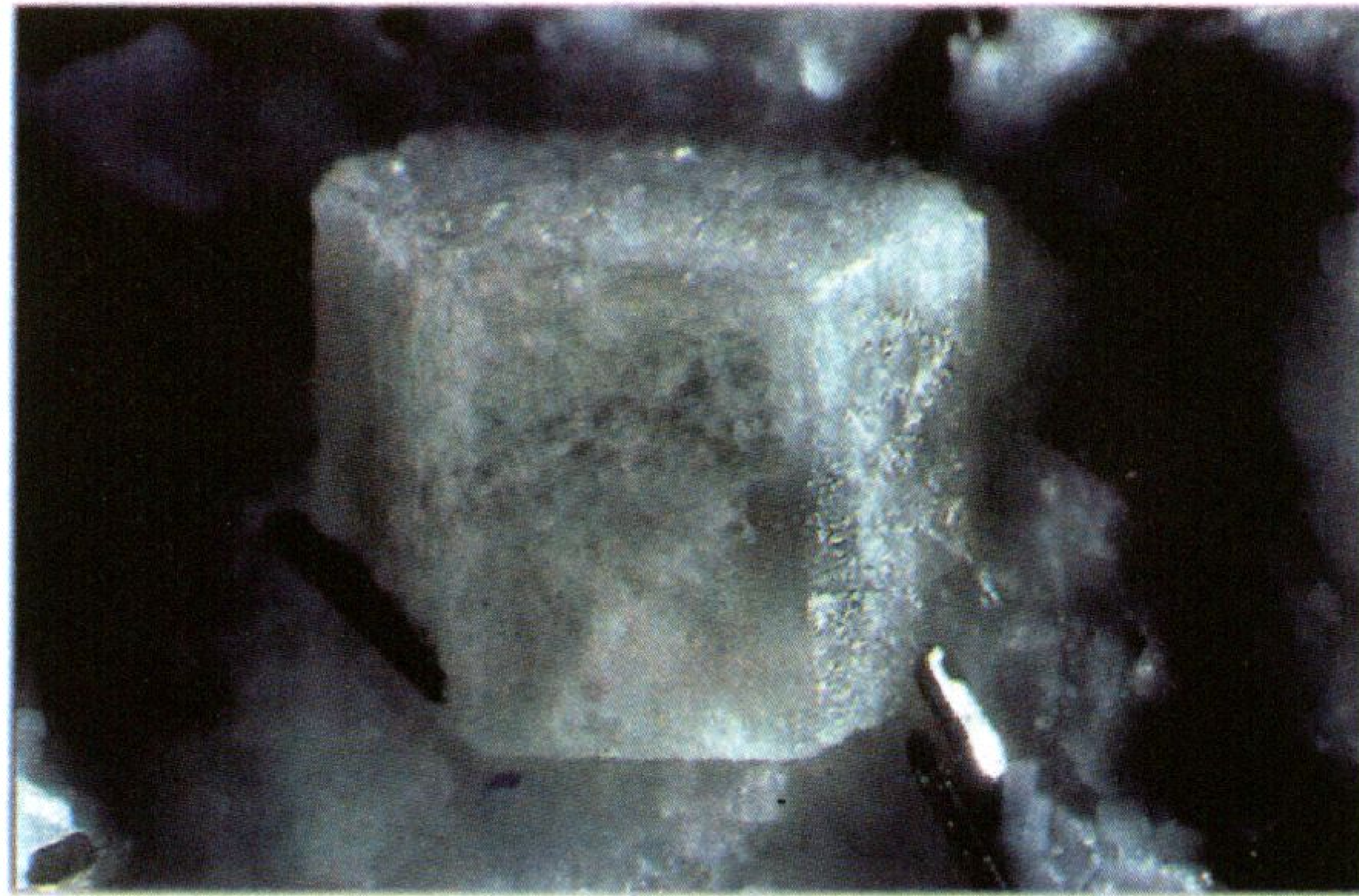
كيميائية المعدن

تكتب الصيغة الكيميائية للنيفيلين في بعض المراجع على شكل $NaAlSiO_4$، ولكن يندر وجود النيفيلين على هذه الصورة النقية ولكن دائماً يتواجد البوتاسيوم بكميات متفاوتة ولذلك تكتب الصيغة الكيميائية هكذا $[Na_3K(AlSiO_4)_4]$. ويرجع ذلك إلى إن هناك بعض المواقع بالبنية البلورية للنيفيلين تساعد على إستيعاب الأيونات الكبيرة مثل البوتاسيوم. تصل نسبة الصوديوم إلى البوتاسيوم فى معظم أنواع النيفيلين إلى ٣:١. عند درجات

الحرارة العالية، يظهر محلول صلب كامل بين النيفيلين النقى (١٠٠% صوديوم) والكالسيلايت (١٠٠% بوتاسيوم). كما يمكن وجود نسبة من الكالسيوم.

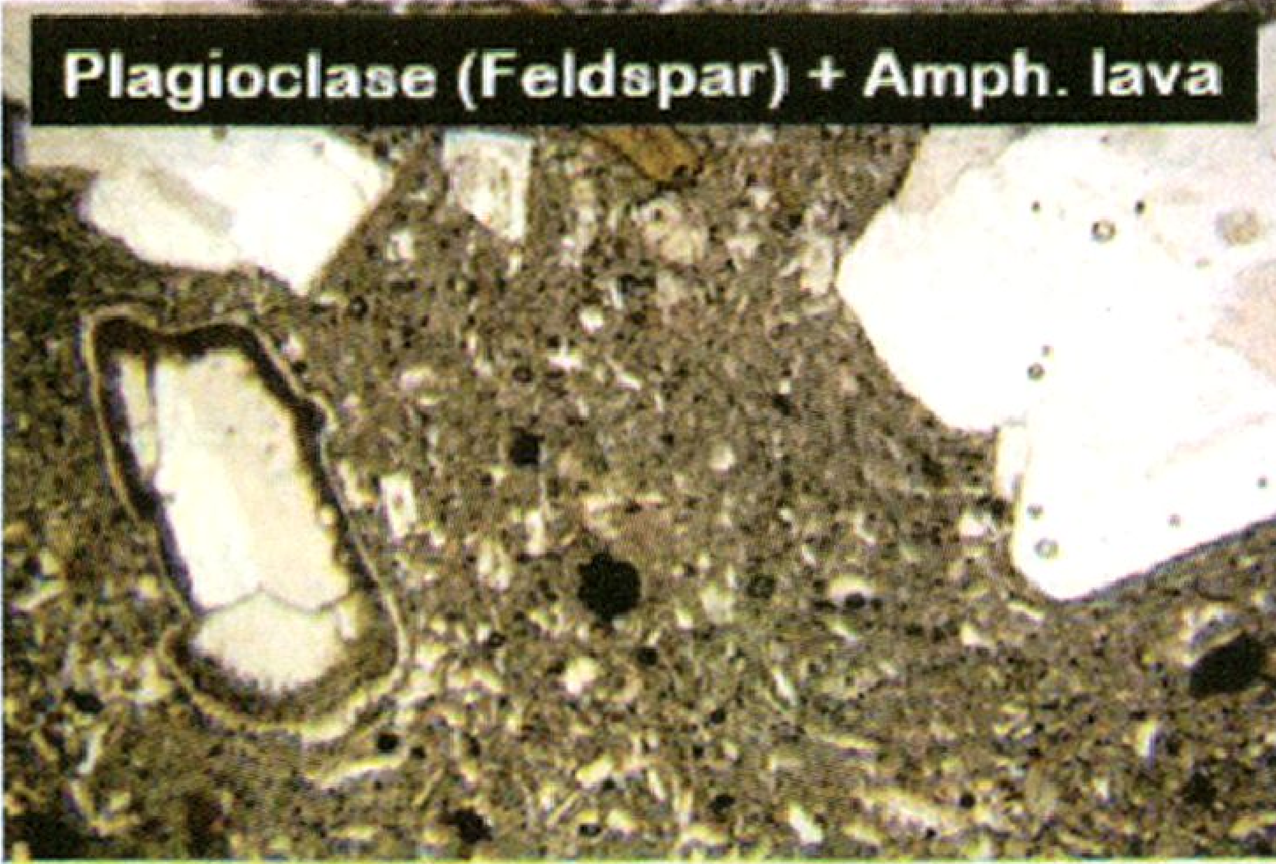
الصفات الفيزيائية والبصرية

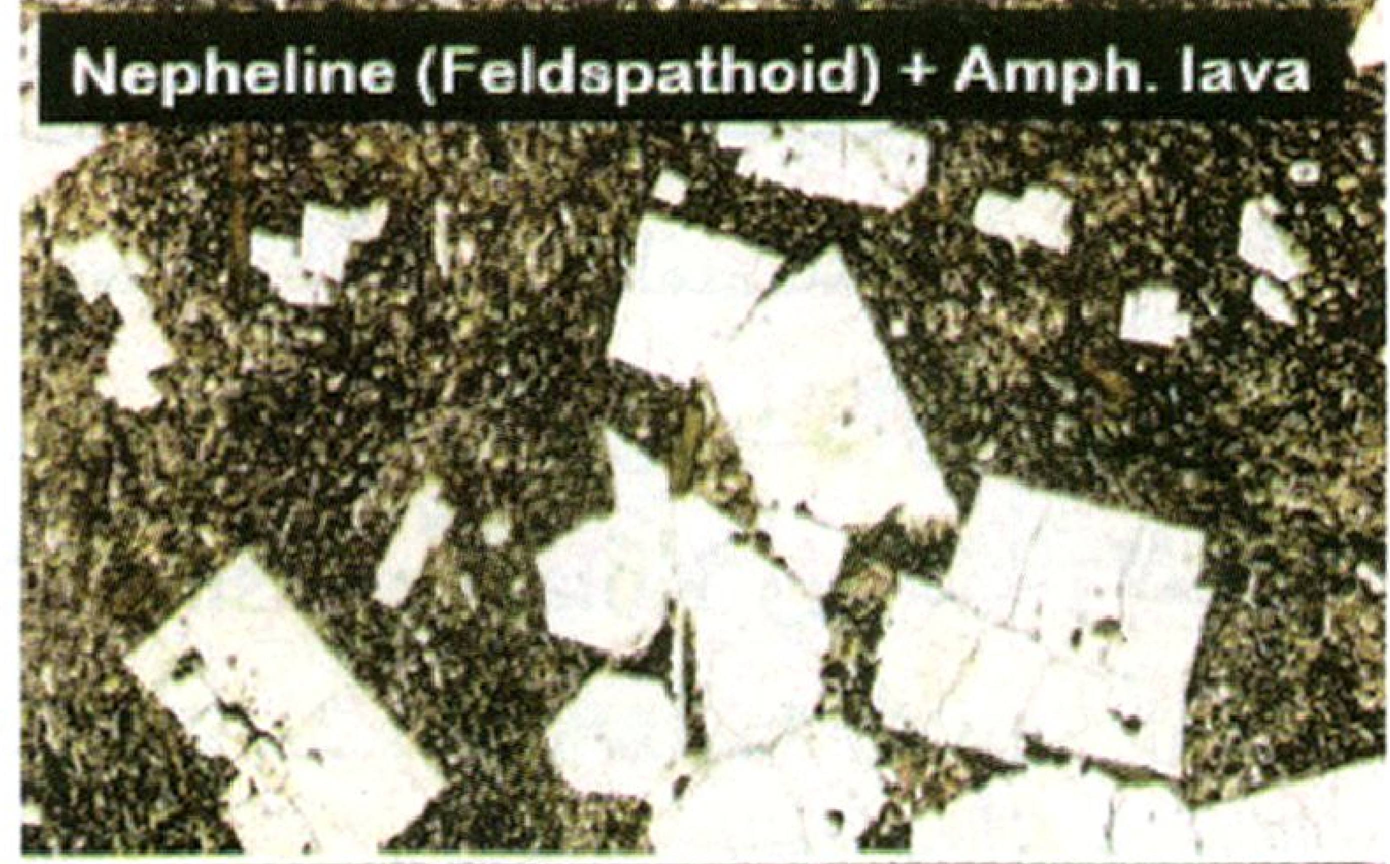
يتخذ المعدن غالباً لون أبيض إلى رمادي (شكل ٧-٣٨) أو بني ولكن أحياناً يتخذ ألوان أخرى. البريق شحمي Greasy إلى مطفى فى العينات المجواه. المخدش أبيض. المعدن نصف شفاف إلى شفاف فى بعض الأحيان. الصلادة= ٥,٥-٦ والإنفصام منشورى ضعيف فى ثلاث إتجاهات ولكن يندر رؤيته. الوزن النوعي= ٢,٥٥- ٢,٦٧. تحت الميكروسكوب، يظهر المعدن عديم اللون. التضاريس منخفضة سالبة إلى منخفضة موجبة. ألوان التداخل من الرتبة الأولى (رمادى). المعدن أحادى المحور سالب ويبلغ معاملى الانكسار (ω) = ١,٥٢٩- ١,٥٤٦ و (ϵ)= ١,٥٢٦- ١,٥٤٤ وقرينة الانكسار المزدج (δ)= ٠,٠٠٣- ٠,٠٠٥. تتشابه الصفات البصرية للنيفيلين مع مثيلتها في معادن الفلسبار بالصخور البركانية والجوفية (شكل ٧-٣٩).

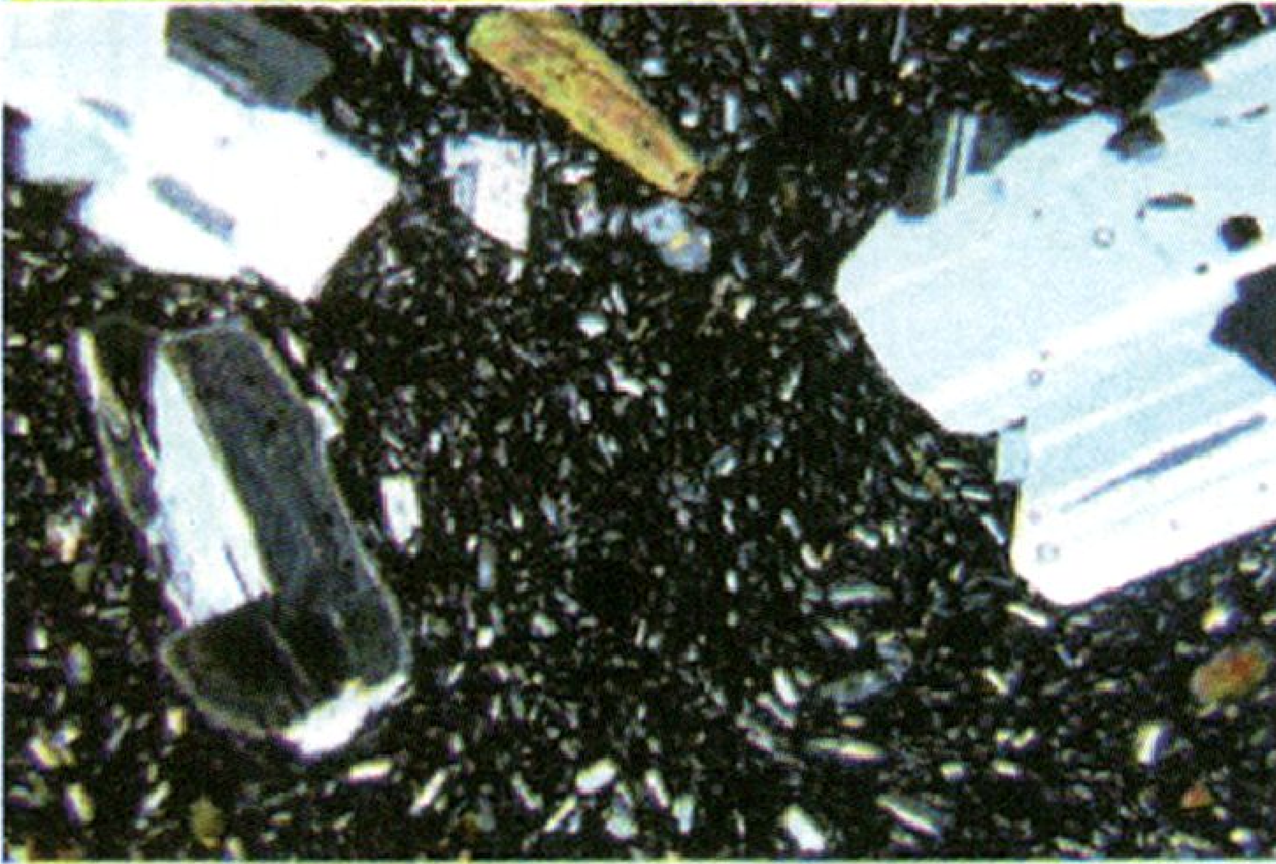


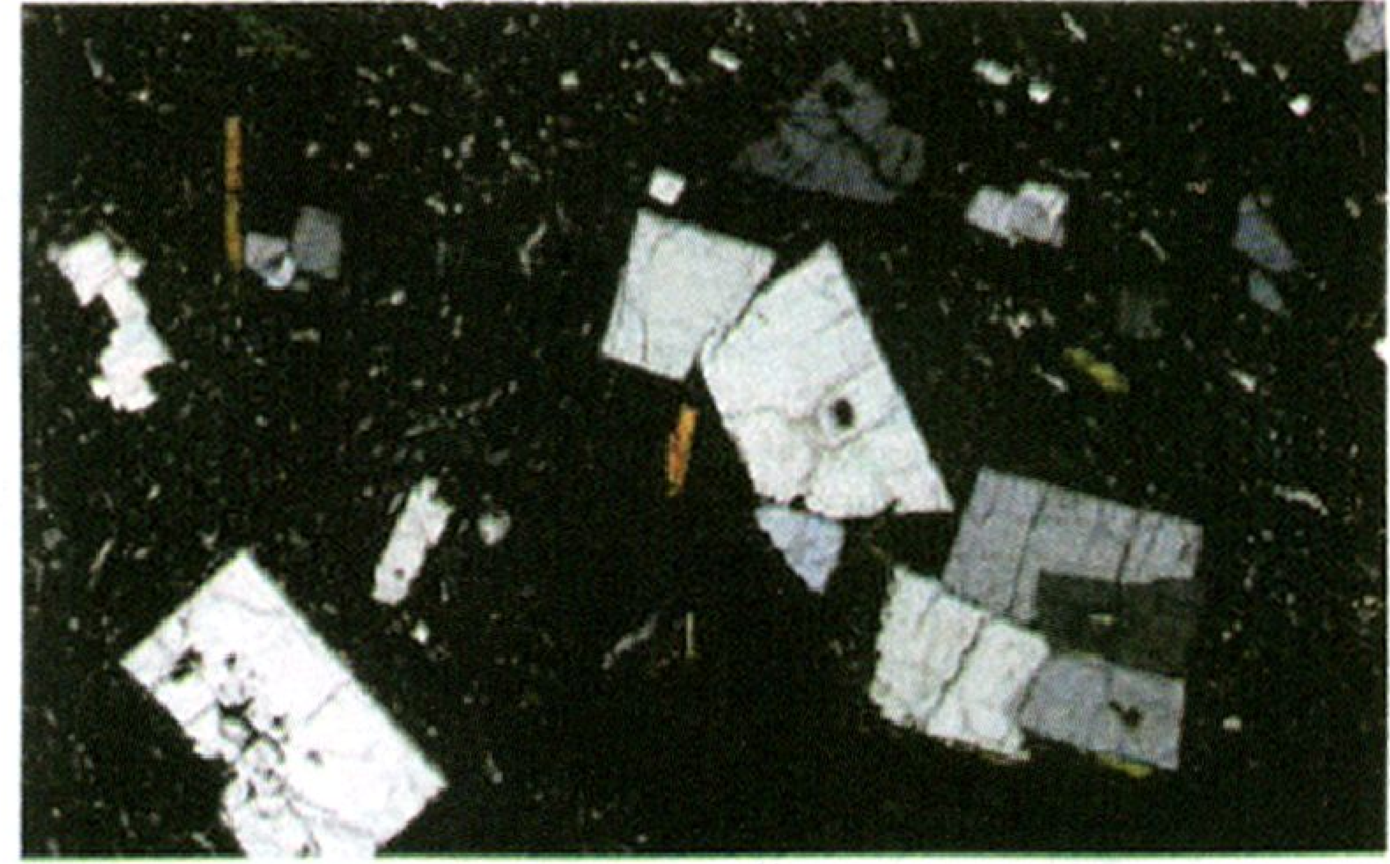
شكل ٧-٣٨: بلورة عديمة اللون للنيفيلين على هيئة منشور سداسي.
(© Lou Perloff / Photo Atlas of Minerals)

(أ)



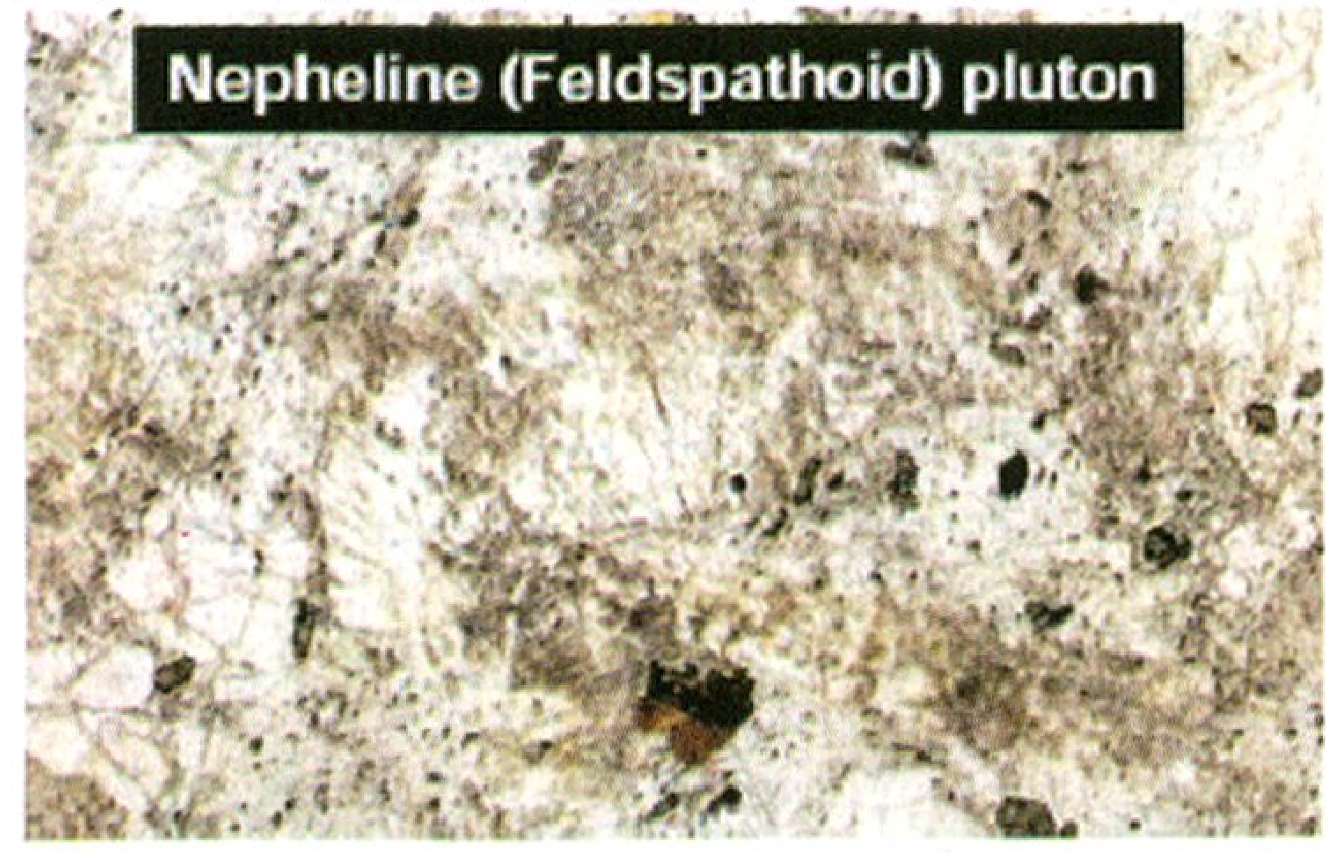






(ب)









شكل ٧-٣٩: صور ميكروسكوبية تظهر مدى التشابه في الصفات البصرية بين النيفيلين والبلاجيوكليز بالصخور البركانية (أ) والصخور الجوفية (ب) الصورتين السفليتين في كل من أ، ب مأخوذتين بمنشوري نيكول.

التواجدات والصحبة المعدنية

يوجد النيفيلين كمعدن أساسي بالصخور النارية مثل السيانيت النيفيليني والمونزونيت النيفيليني والنيفيلينيت. ومن المعادن المصاحبة: الفلسبار البوتاسى والبلاجيوكليز والأمفيبول والصوداليت والناترولايت والبيكتوليت. ومن أشهر أماكن تواجده: جزيرة كولا Kola Peninsula وروسيا وإيطاليا وكندا والولايات المتحدة الأمريكية. كما يوجد بجبل ساودا Jabal Sawda بالمملكة العربية السعودية بصخور السيانيت النيفيليني مصاحباً لمعادن الفلسبار البوتاسي والصوداليت والبلاجيوكليز والهاستينجزيت الحديدى والإيجيرين والأوجيت والبيوتيت. ويوجد في مصر في عدة أماكن مصاحباً للسيانيت النيفيليني كما في منطقة أبو خروق.

الاستخدامات

يستخدم النيفلين والبلاجيوكليز والفلسبار البوتاسي وهى المعادن الأساسية المكونة لصخور السيانيت النيفيليني بعد طحنها وتنقيتهـا من معادن الحديدوماغنسيومية فى صناعة الزجاج والسيراميك. كما يمكن استخدامه فى صناعات الدهانات والبلاستيك المطاط. يعتبر النيفلين مصدراً للألومنيوم حيث يحتوي على نسبة عالية منه ولكنه يأتى بعد خام البوكسيت الذى يعد المصدر الأساسى للألومنيوم.

اللوسيت Leucite



$KAlSi_2O_6$

يأتى اسم المعدن من الكلمة الإغريقية *leucas* والتى تعني أبيض ويشير الاسم إلى اللون الأبيض المميز للمعدن.

البنية البلورية

يتبلور اللوسيت بفصيلة المكعب (شكل الأربعة وعشرون وجهاً شبه المنحرف Trapezohedron) عند درجات الحرارة العالية . تتحول البنية من فصيلة المكعب (غير مستقر) إلى بنية تتبع فصيلة الرباعى مع التبريد

دون تغير الشكل الخارجي. رغم أن المعدن يتبلور بفصيله الرباعى إلا أن الشكل الخارجي يأخذ شكل مكعب كاذب ويسمى الشكل البلورى فى هذه الحالة الأربعة وعشرون وجهاً شبه المنحرف الكاذب Pseudo-Trapezohedron (شكل ٧-٤٠). تبلغ أبعاد خلية الوحدة في النوع المتبلور في فصيلة الرباعي: أ=١٣,٠٦، ج= ١٣,٧٥ أنجستروم. نسبة أطوال المحور أ:ج =١ : ١,٠٥٣. يوجد المعدن على شكل بلورات صغيرة بأرضية الصخور البركانية. يكثر به التوأمية المتكررة على المستويات {110} و{101} وإتجاهات أخرى.



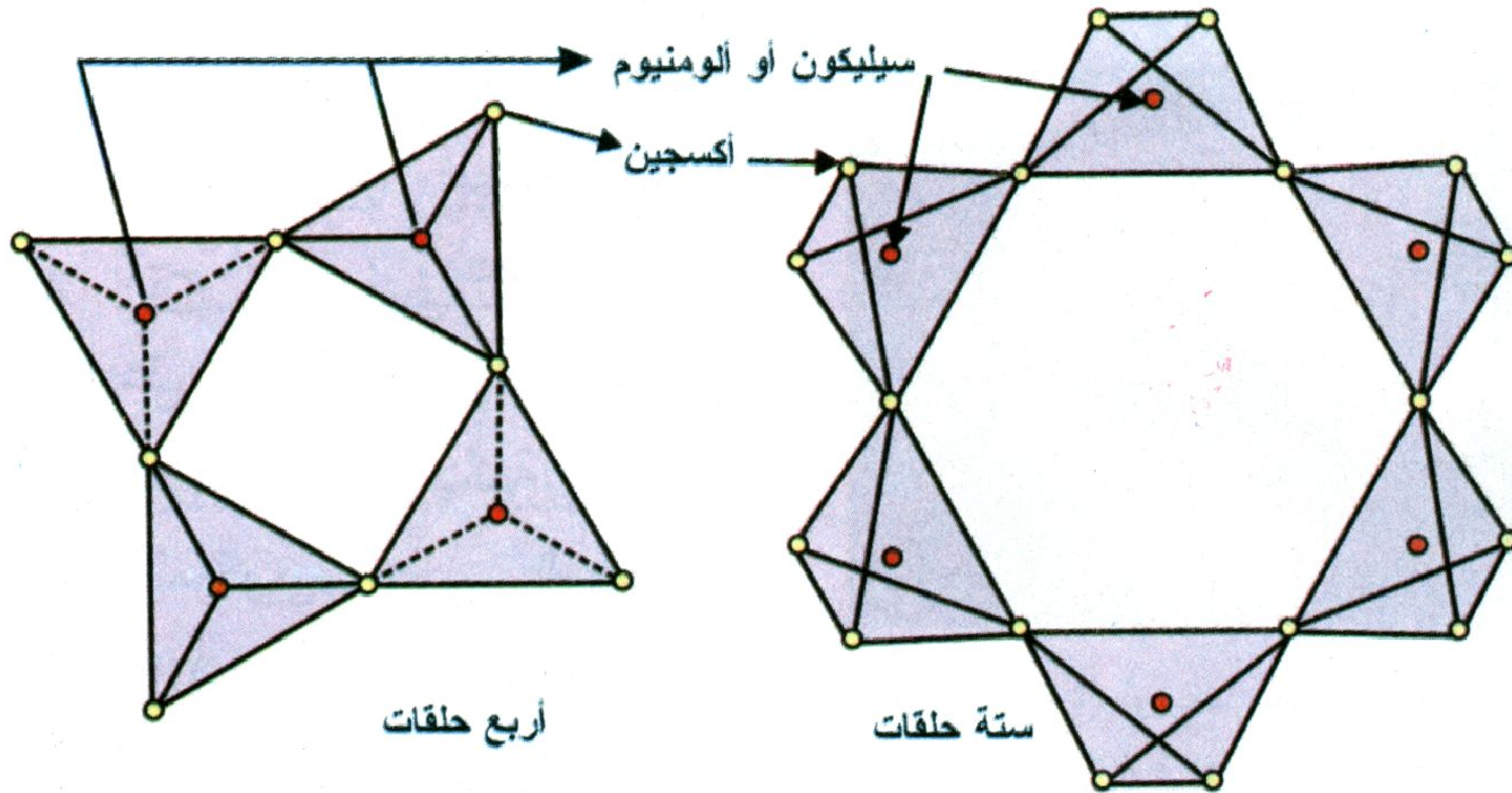
شكل ٧-٤٠: لوسيت على هيئة الأربعة وعشرون وجهاً شبه المنحرف الكاذب من منطقة لوكنا Loucna بجمهورية التشيك.

تتكون البنية البلورية للوسيت من أربع إلى ٦ حلقات من رباعيات الأوجه السيليكاتى والألومنيومى (شكل ٧-٤١). تتصل هذه الحلقات مع بعضها لتكون بنية شبكية. تشغل أيونات البوتاسيوم الفراغات الكبيرة بهذه البنية. عند درجات حرارة أعلى من ٦٢٥°م، تتخذ البنية تماثل فصيلة المكعب، ولكن فى درجات حرارة أقل من ٦٢٥°م، يحدث تشوه للبنية إلى فصيلة الرباعي. عند درجات الحرارة العالية، يستطيع أيون البوتاسيوم شغل الفراغات الكبيرة بالبنية البلورية بحرية حركته التذبذبية، ولكن مع إنخفاض درجة الحرارة، لا يستطيع أيون البوتاسيوم ملىء هذه الفراغات وذلك لعدم قدرته على التذبذب بحرية مما يؤدى إلى تقلص حجم تلك الفراغات حتى تتناسب مع حجم أيونات البوتاسيوم التى تشغلها ومن ثم تتشوه البنية البلورية.

كيميائية المعدن

فى معظم الأحيان، يتكون اللوسيت في صورته النقية من سيليكات الألومنيوم والبوتاسيوم $KAlSi_2O_6$ مع وجود كميات قليلة من الصوديوم والتى

تحل محل البوتاسيوم، ويوجد أيضاً الحديد الثلاثى والذى يحل محل الألومنيوم. تصل نسبة أكسيد البوتاسيوم إلى حوالى ٢١,٥% وأكسيد الألومنيوم ٢٣,٥% وأكسيد السيليكون حوالى ٥٥%.



شكل ٧-٤١: البنية البلورية للوسيت (عن دير وأخرون ١٩٨٩).

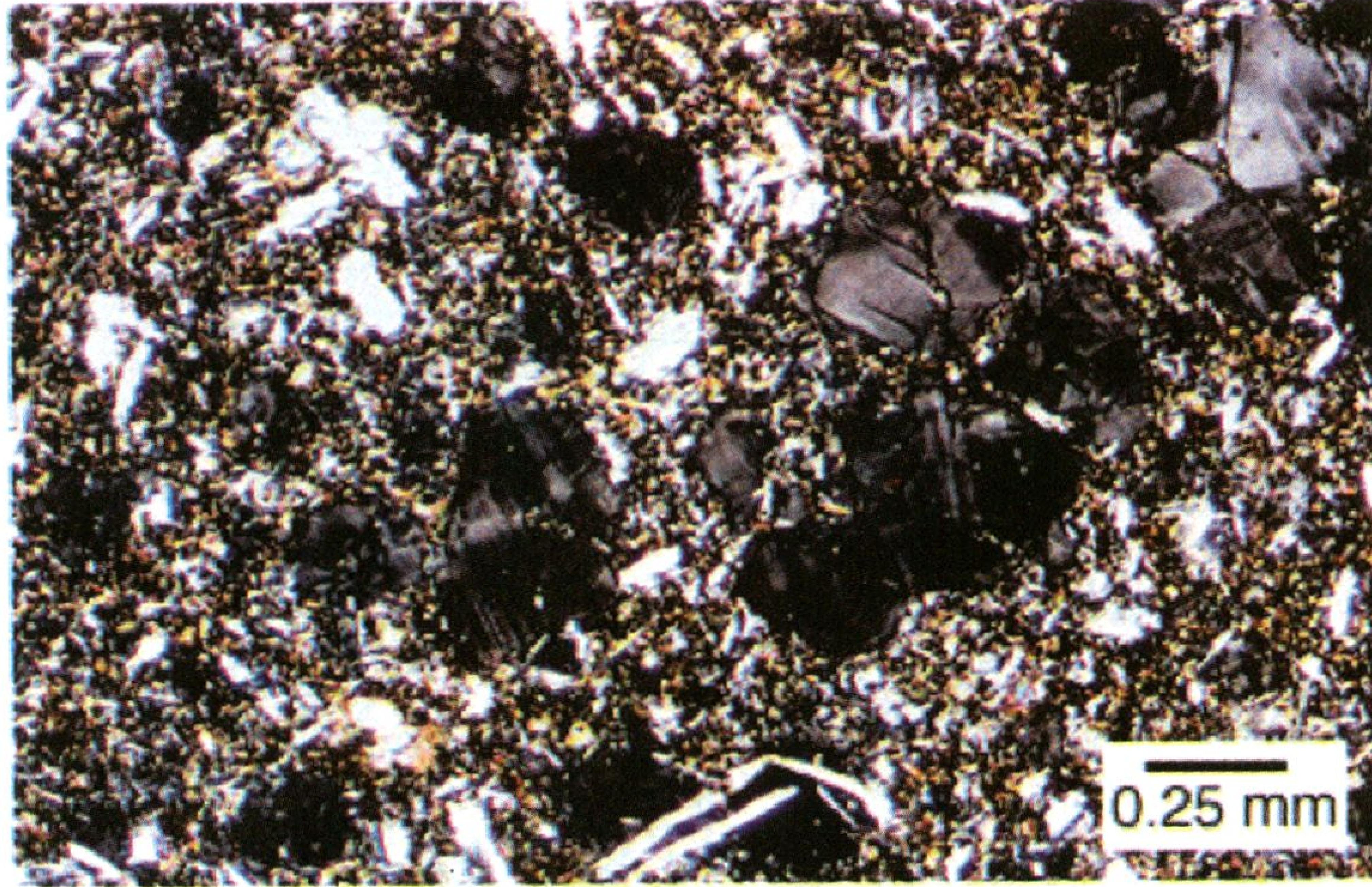
الصفات الفيزيائية والبصرية

اللون أبيض أو رمادى وأحياناً مع بقع صفراء أو حمراء (أنظر شكل ٧-٤٠). البريق زجاجي أو شحمي إلى مطفي. المخدش أبيض. البلورات شفافة أو نصف شفافة وأحياناً معتمة. الصلادة= ٥,٥-٦ ولايوجد إنفصام والمكسر محاري. الوزن النوعي= ٢,٤- ٢,٥. تحت الميكروسكوب، يظهر المعدن باللون الأبيض والرمادى وأحياناً عديم اللون وفي وجود منشوري نيكول يعطي المعدن ألوان تداخل رمادية من الرتبة الأولى (شكل ٧-٤٢). التضاريس منخفضة سالبة والتوأمية متحدة المركز Concentric. المعدن أحادى المحور موجب. معاملى الانكسار (ω) = ١,٥٠٨- ١,٥١١ و(ϵ)= ١,٥٠٩- ١,٥١١ وقرينة الانكسار المزدوج (δ)= ٠,٠٠٠- ٠,٠٠١.

التواجدات والصحبة المعدنية

تعتبر الصخور البركانية للعصر الثلاثى والرباعي هى أكثر الصخور إحتواءً على اللوسيت، مثل الصخور البركانية المافية والغنية بالبوتاسيوم وما

يصاحبها من صخور جوفية ضحلة. يتواجد المعدن دائماً مع البلاجيوكليز والنيفيلين والصوداليت والسانيدين والكلينوبيروكسين والأمفيبول. ومن أشهر أماكن تواجده: إيطاليا والولايات المتحدة الأمريكية والبرازيل وكندا.



شكل ٧-٤٢: صورة ميكروسوبية للوسيت (رمادي اللون) بإستخدام منشوري نيكول.

الاستخدامات

استخداماته قليلة، فقد تم استخدامه فى إيطاليا كمصدر للبوتاسيوم والذى يستعمل فى صناعة الأسمدة، كما بُذلت محاولات لاستخدامه كمصدر للألومنيوم.

Sodalite صوداليت

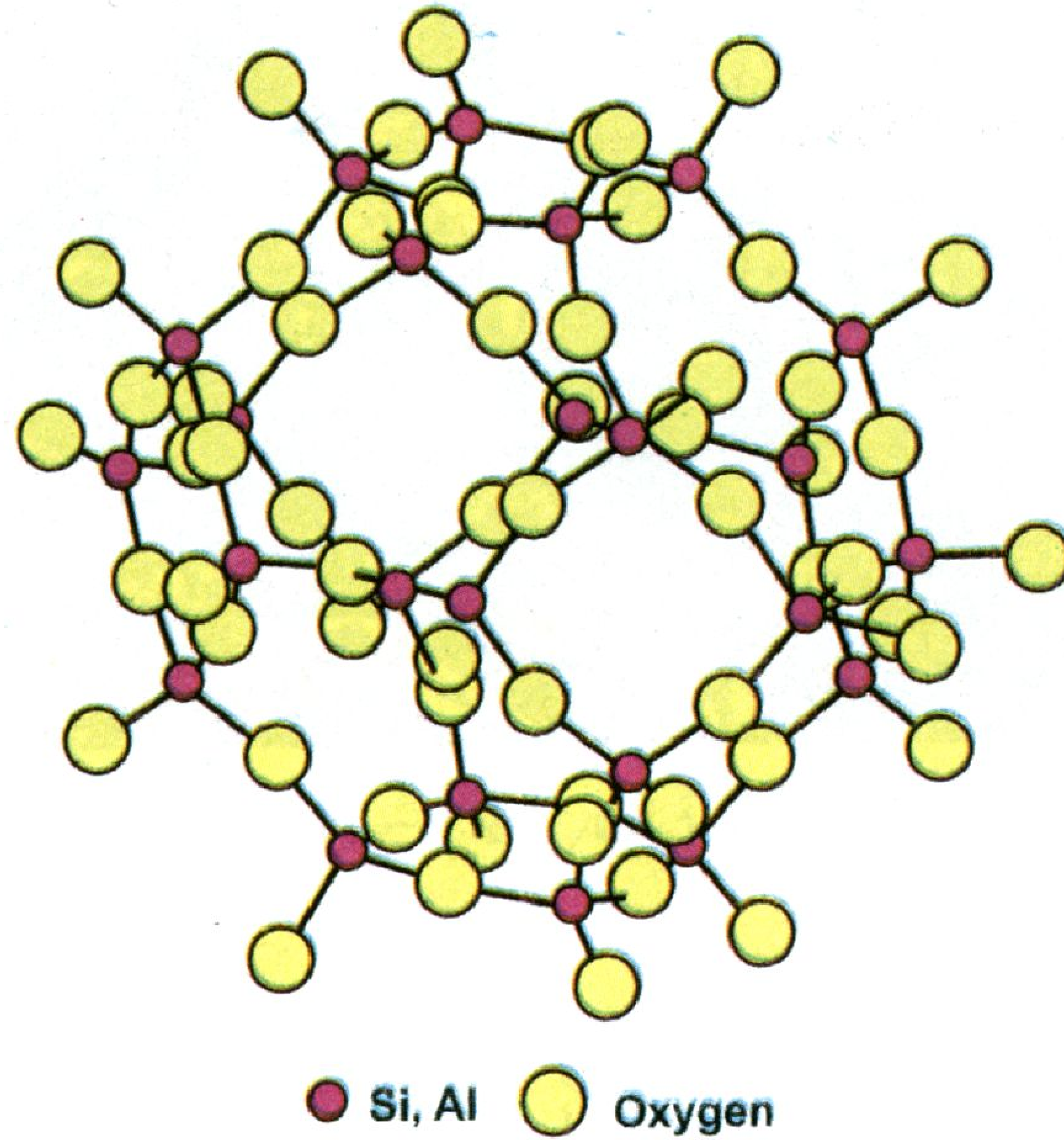

$Na_8(Al\ SiO_4)_6Cl_2$

يرجع اسم المعدن إلى محتواه العالي من الصوديوم.

البنية البلورية

يتبلور المعدن بفصيلة المكعب وتبلغ أبعاد خلية الوحدة أ= ٨,٨٧٠-٨,٨٨٢ أنجستروم ومجموع الذرات بخلية الوحدة (Z) = ١. توجد البلورات على شكل أثنى عشر وجهاً Dodecahedron ولكنها نادرة. عادةً ماتكون

البلورات كتلية أوحبيبات ناقصة الأوجه. تكثر التوأمية على المستوى {111}. تتشابه البنية البلورية للصوداليت مع معادن الزيوليت حيث تتكون من شبكية من رباعيات الأوجه السيليكاتية والألومنيومية المتبادلة والتى تحتوى على فجوات. تشغل أيونات الكلورين Cl^- وما حولها من كاتيونات الصوديوم Na^+ تلك الفجوات (شكل ٧-٤٣).

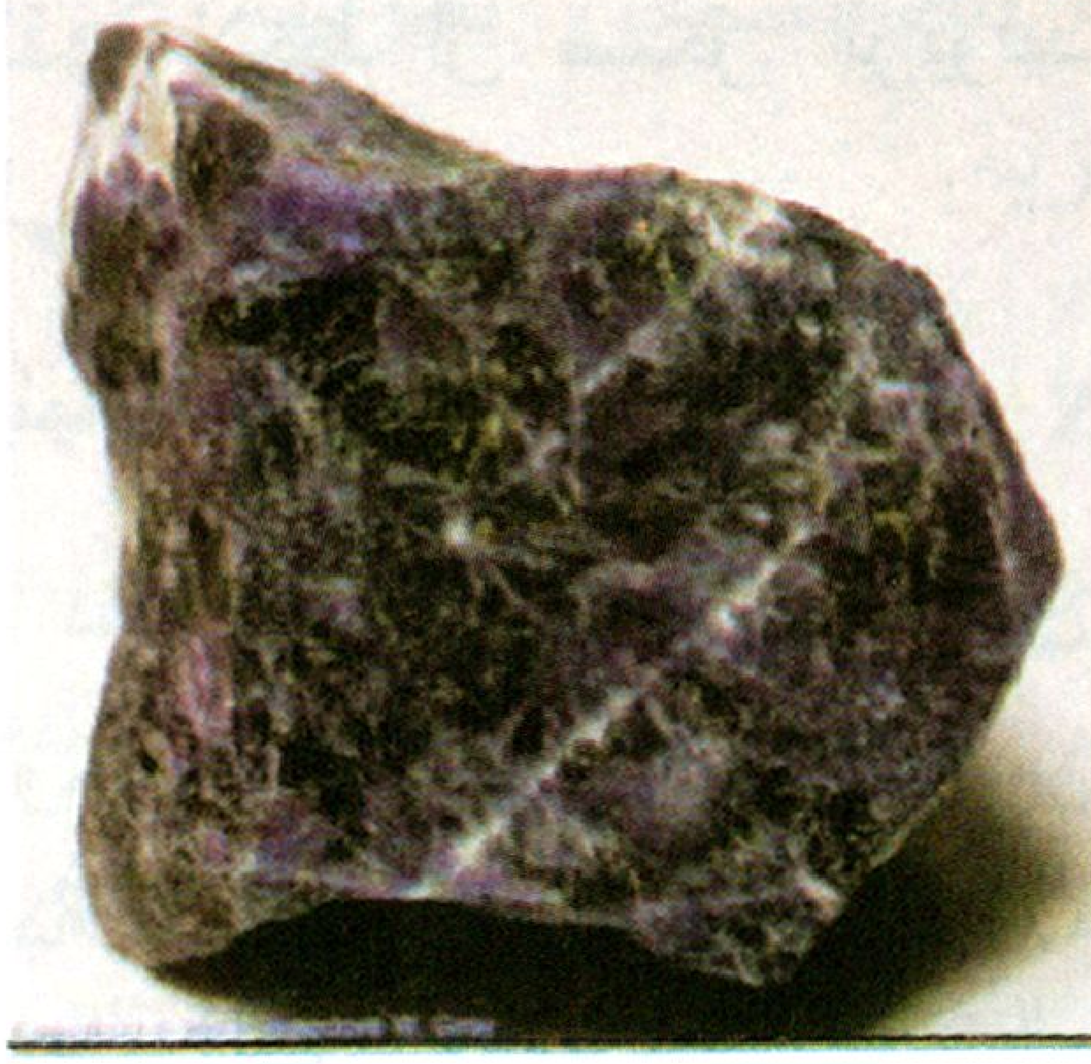


شكل ٧-٤٣: جزء من شبكية سيليكات الألومنيوم بالبنية البلورية للصوداليت (براج ١٩٣٧).

كيميائية المعدن

يعتبر معدن الصوداليت أحد معادن المجموعة التى تسمى باسمه "مجموعة الصوداليت" والتى تشتمل أيضاً على نوزيان ($Na_8Al_6Si_6O_{24}SO_4$) (Nosean وهونى Haune [$(Na,Ca)_{4-8}Al_6Si_6(O,S)_{24}(SO_4)_{1-2}$] . يتكون الصوداليت من سيليكات الألومنيوم والصوديوم مع الكلورين. تصل نسبة أكسيد الصوديوم إلى ٢٥,٦% وأكسيد الألومنيوم ٣١,٦٥% وأكسيد السيليكون ٣٧,٢%، والكلورين ٧,٣%.

الصفات الفيزيائية والبصرية



شكل ٧-٤٤: صودااليت ذو لون ازرق غامق (© 2000 W.Gray).

اللون أزرق أو أبيض أو رمادى وأحياناً أخضر (شكل ٧-٤٤). البريق زجاجى إلى شحمى. المخدش أبيض. البلورات شفافة إلى نصف شفافة، ولكن البلورات ذات الهيئة الكتلية تكون معتمة. الصلادة= ٥,٥-٦ والإنفصام ضعيف فى ستة إتجاهات ولكن يندر رؤيته. المكسر غير مستوي. الوزن النوعي= ٢,١-٢,٣. تحت الميكروسكوب، يُظهر المعدن تضاريس متوسطة سالبة. المعدن أيزوتروبى.

التواجدات والصحبة المعدنية

يتواجد الصوداليت على شكل عروق بالصخور الجوفية مثل السيانيت النيفيليني والتراكيت والفونوليت مصاحباً معادن الفلسباثويد الأخرى والكالسيت والكنكرينيت Cancrinite والناترووليت. ومن أشهر أماكن تواجده: جرينلاند حيث يوجد الصوداليت الأخضر والبرازيل وهي أكثر مصدر لمعدن الصوداليت والمستخدم كحجر للزينه وجنوب إفريقيا وناميبيا وكندا والولايات المتحدة الأمريكية.

الاستخدامات

استخدامات الصوداليت محدودة ولكن الأنواع الزرقاء منه تستخدم كأحجار زينة.

مجموعة الزيوليت Zeolite group

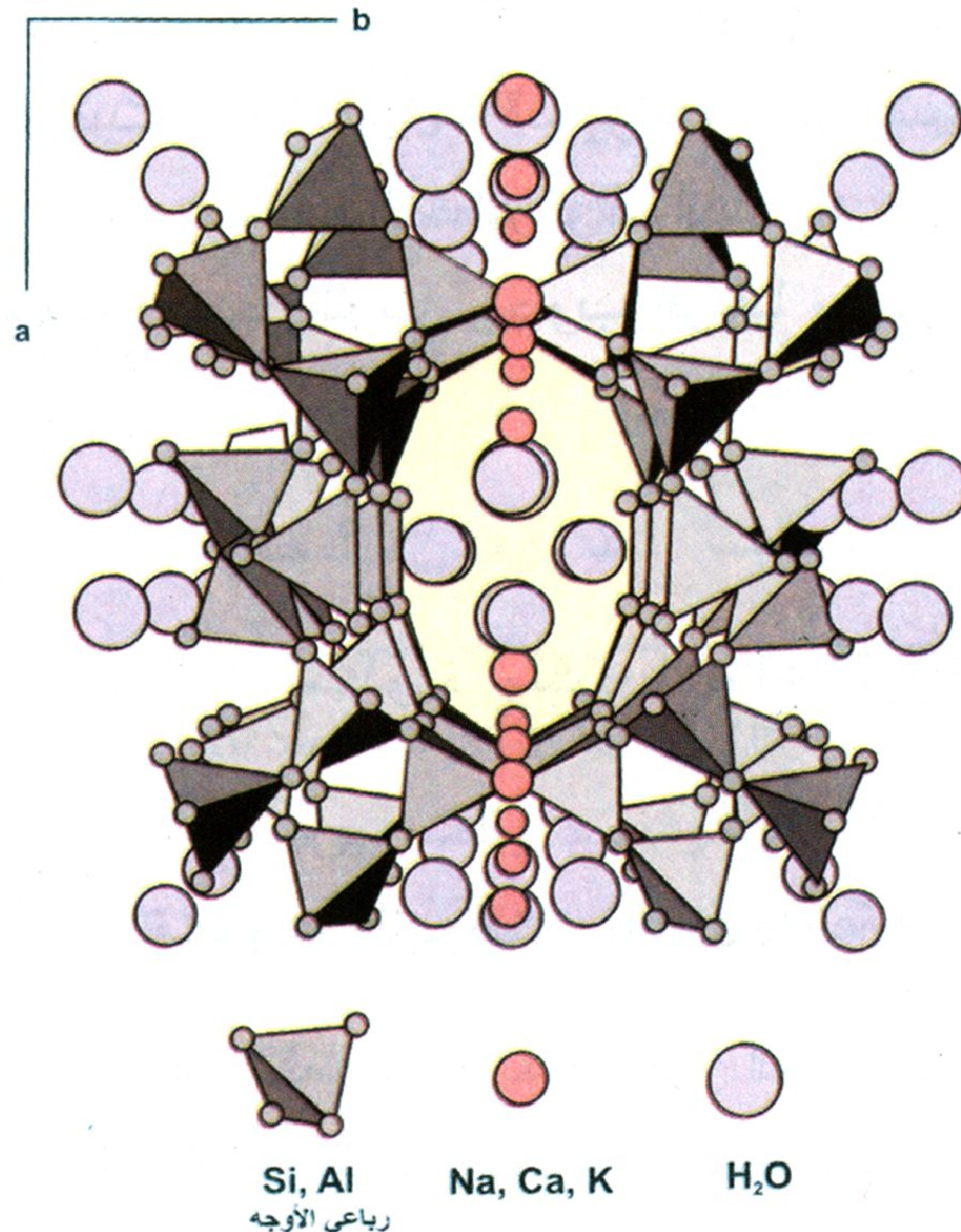
يأتى اسم الزيوليت من كلمات إغريقية تعنى" الحجر الذى يغلى". وقد تم استخدام هذا الاسم فى القرن الثامن عشر بواسطة أحد علماء علم المعادن

السويديين ويدعى أكسيل فريدريك كرونشديت Axel Fredrik Cronstedt والذى لاحظ أن صخر الزيوليت يبدأ عند تسخينه فى الحركة وكأنه ماء يغلى.

البنية البلورية

تتكون البنية البلورية لمعادن الزيوليت من وحدات متشابكة من رباعى الأوجه السيليكاتي SiO_4 ورباعى الأوجه الألومنيومى AlO_4 (شكل ٧-٤٥). نسبة السيليكون+ الألومنيوم \ الأكسجين ((Si+Al)/O) = ٢\١.

تتميز البنية البلورية للزيوليت بوجود أماكن شاغرة كبيرة والتى تسمح بدخول الكاتيونات الكبيرة مثل الصوديوم والبوتاسيوم والباريوم والكالسيوم وأيضاً بعض الجزيئات والمجموعات الكاتيونية مثل الماء والأمونيا وأيوني الكربونات والنيترات. تتصل الفراغات مع بعضها وتكّون قنوات طويلة وواسعة وذات أحجام مختلفة حسب نوع المعدن. ويرجع الوزن النوعي المنخفض لمعادن الزيوليت إلى وجود تلك الفراغات والقنوات بالبنية



شكل ٧-٤٥: البنية البلورية للزيوليت (نيسي ٢٠٠٠ Nesse).

البلورية. تسمح هذه القنوات بحرية حركة الأيونات والجزيئات بالدخول والخروج من معادن الزيوليت. وتتميز تلك المعادن بقدرتها على فقد وإمتصاص الماء دون تشوه في بنيتها البلورية.

تصنيف الزيوليت Zeolite Classification

تحتوى مجموعة الزيوليت على أكثر من ٤٠ معدن تكونت طبيعياً (جدول ٧-٦)، وهناك ايضاً حوالى ٦٠٠ معدن تم تخليقها صناعياً. ويرجع ذلك إلى طبيعة البنية البلورية لمعادن الزيوليت والتى تسمح بعمليات التبادل الأيوني. ومنذ عدة سنوات إجتمعت جمعية علم المعادن. الدولية (IMA) لتعريف وتصنيف معادن مجموعة الزيوليت وبالفعل تم التوصل إلى تصنيف مجموعة الزيوليت إلى عدة سلاسل تضم الأنواع المختلفة لمعادن الزيوليت (كومبس وأخرون ١٩٩٧ .Coombs et al).

جدول ٧-٦: أنواع الزيوليت المقترحة من قبل جمعية علم المعادن الدولية.

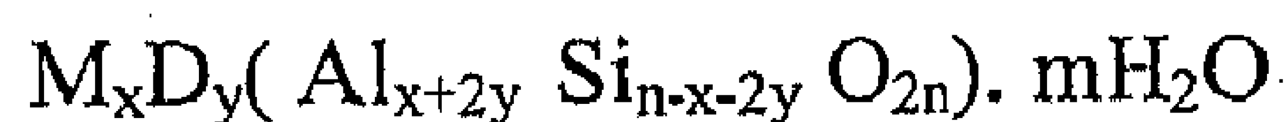
Species Name اسم النوع		Series السلسلة	
Berwsterite-Sr	بيروشتيريت-سترانشيوم	Berwsterite	بيروشتيريت
Berwsterite-Ba	بيروشتيريت- باريوم		
Chabazite -Ca	شابازيت- كالسيوم	Chabazite	شابازيت
Chabazite -Na	شابازيت- صوديوم		
Chabazite-K	شابازيت- بوتاسيوم		
Clinoptilolite-K	كلينوبتيلولايت- بوتاسيوم	Clinoptilolite	كلينوبتيلولايت
Clinoptilolite-Na	كلينوبتيلولايت- صوديوم		
Clinoptilolite-Ca	كلينوبتيلولايت- كالسيوم		
Dachiardite-Ca	داشيارديت - كالسيوم	Dachiardite	داشيارديت
Dachiardite-Na	داشيارديت - صوديوم		
Erionite-Ca	إريونيت - كالسيوم	Erionite	إريونيت
Erionite-K	إريونيت - بوتاسيوم		
Erionite-Na	إريونيت - صوديوم		
Faujasite-Na	فوجاسيت- صوديوم	Faujasite	فوجاسيت
Faujasite-Ca	فوجاسيت- كالسيوم		
Faujasite-Mg	فوجاسيت- ماغنسيوم		

تابع جدول ٧-٦

Series السلسلة	Species Name اسم النوع
فيريريت Ferrierite	فيريريت- ماغنسيوم Ferrierite-Mg
	فيريريت- بوتاسيوم Ferrierite-K
	فيريريت- صوديوم Ferrierite-Na
جميلينيت Gmelinite	جميلينيت- صوديوم Gmelinite-Na
	جميلينيت- كالسيوم Gmelinite-Ca
	جميلينيت- بوتاسيوم Gmelinite-K
هيولانديت Heulandite	هيولانديت- كالسيوم Heulandite -Ca
	هيولانديت- صوديوم Heulandite -Na
	هيولانديت- بوتاسيوم Heulandite -K
	هيولأنديت- سترنشيوم Heulandite -Sr
إيفين Ievyne	إيفين - كالسيوم Ievyne -Ca
	إيفين - صوديوم Ievyne -Na
بولينجيت Paulingite	بولينجيت- بوتاسيوم Paulingite-K
	بولينجيت- كالسيوم Paulingite-Ca
فيليبسيت Phillipsite	فيليبسيت- صوديوم Phillipsite-Na
	فيليبسيت- كالسيوم Phillipsite-Ca
	فيليبسيت- بوتاسيوم Phillipsite-K
ستيلبيت Stilbite	ستيلبيت- كالسيوم Stilbite-Ca
	ستيلبيت- صوديوم Stilbite-Na
ناتروليت Natrolite	
أنالسيم Analcime	
لاومونتيت Laumontite	

كيميائية المعدن

الزيوليت عبارة عن مجموعة من المعادن تحمل الصيغة الكيميائية التالية:



$$M_xD_y(Al_{x+2y}\,Si_{n-x-2y}\,O_{2n}).\,mH_2O$$

حيث M = صوديوم أو بوتاسيوم (كاتيونات أحادية التكافؤ)
D = كالسيوم أو ماغنسيوم أو كاتيونات أخرى ثنائية التكافؤ

تتغير نسبة السيليكون إلى الألومنيوم من ١:١ إلى ١:٦. تقوم الكاتيونات من النوع M وD بتعويض فرق الشحنة الناتج عن إحلال الألومنيوم (Al^{3+}) محل السيليكون (Si^{4+}) بوحدات رباعي الأوجه. تتكون معادن الزيوليت فى الطبيعة من تفاعل الزجاج البركانى مع الماء الملحي Saline water عند درجات حرارة تتراوح بين ٢٧ و ٥٥°م، ودرجة حامضية تتراوح بين ٩ و١٠. يتم هذا التفاعل فى فترة زمنية تتراوح بين ٥٠ إلى ٥٠٠٠٠ سنة. تمثل أكاسيد السيليكون والألومنيوم والصوديوم المكونات الأساسية بالتركيب الكيميائي للزوليت، بالإضافة إلى وجود كميات من الماء تتراوح بين ١٠-٢٢ نسبة وزنية (جدول ٧-٧). كما توجد كميات من الكالسيوم والبوتاسيوم وأحياناً الحديد والماغنسيوم.

جدول ٧-٧: أمثلة للتحاليل الكيميائية لبعض من معادن الزيوليت مـن منطقـة مودرن، نوفا سكوتيا، كندا (بي-بيبير ٢٠٠٠ Pe-Piper) .

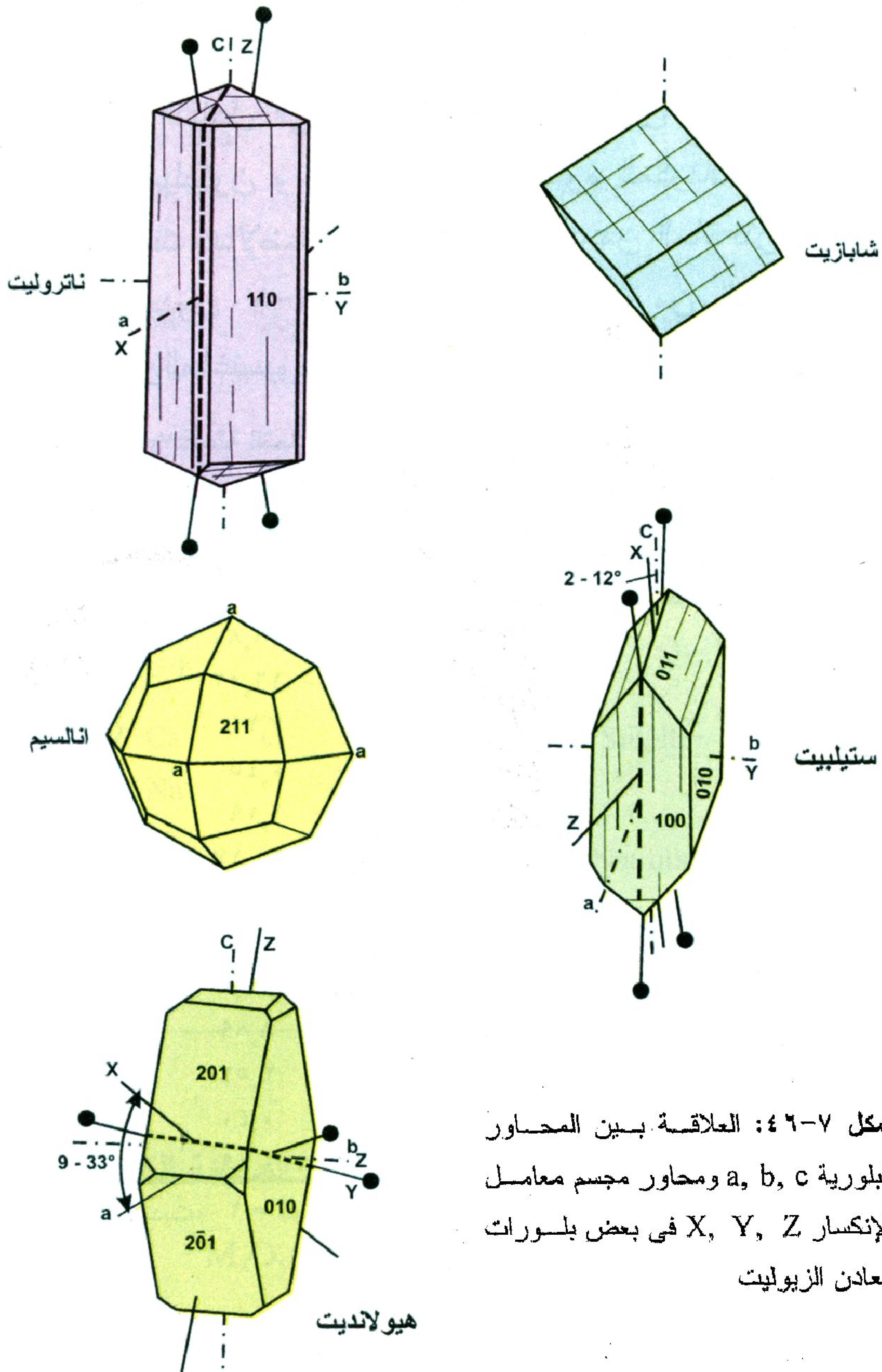
	١	٢	٣
SiO_2	٥٩,٨٠	٦٨,٧٧	٥٧,٢١
Al_2O_3	١٦,٥٢	١٢,٦٧	١٦,٢٠
CaO	٧,٢١	٦,٠٨	٨,٢٠
Na_2O	٠,٤٥	٠,٣١	٠,٥٩
K_2O	١,١٩	٠,٦٦	٠,٠٠
المجموع	٨٥,١٧	٨٨,٤٩	٨٢,٢٠
		٧٢ ذرة أكسجين	
Si	٢٧,٣٠	٢٩,٦٢	٢٧,٠٢
Al	٨,٨٩	٦,٤٣	٩,٠٢
Ca	٣,٥٣	٢,٨١	٤,١٥
Na	٠,٤٠	٠,٢٦	٠,٥٤
K	٠,٦٩	٠,٣٦	٠,٠٠

١ = هيولانديت، ٢ = كلينوبتيلولايت ، ٣= ستيلبيت

سوف يتم فى الفقرات القادمة مناقشة الصفات البلورية والفيزيائية لأكثر الأنواع إنتشاراً.

ناتروليت $Na_2(Al_2Si_3O_{10}).2H_2O$ Natrolite

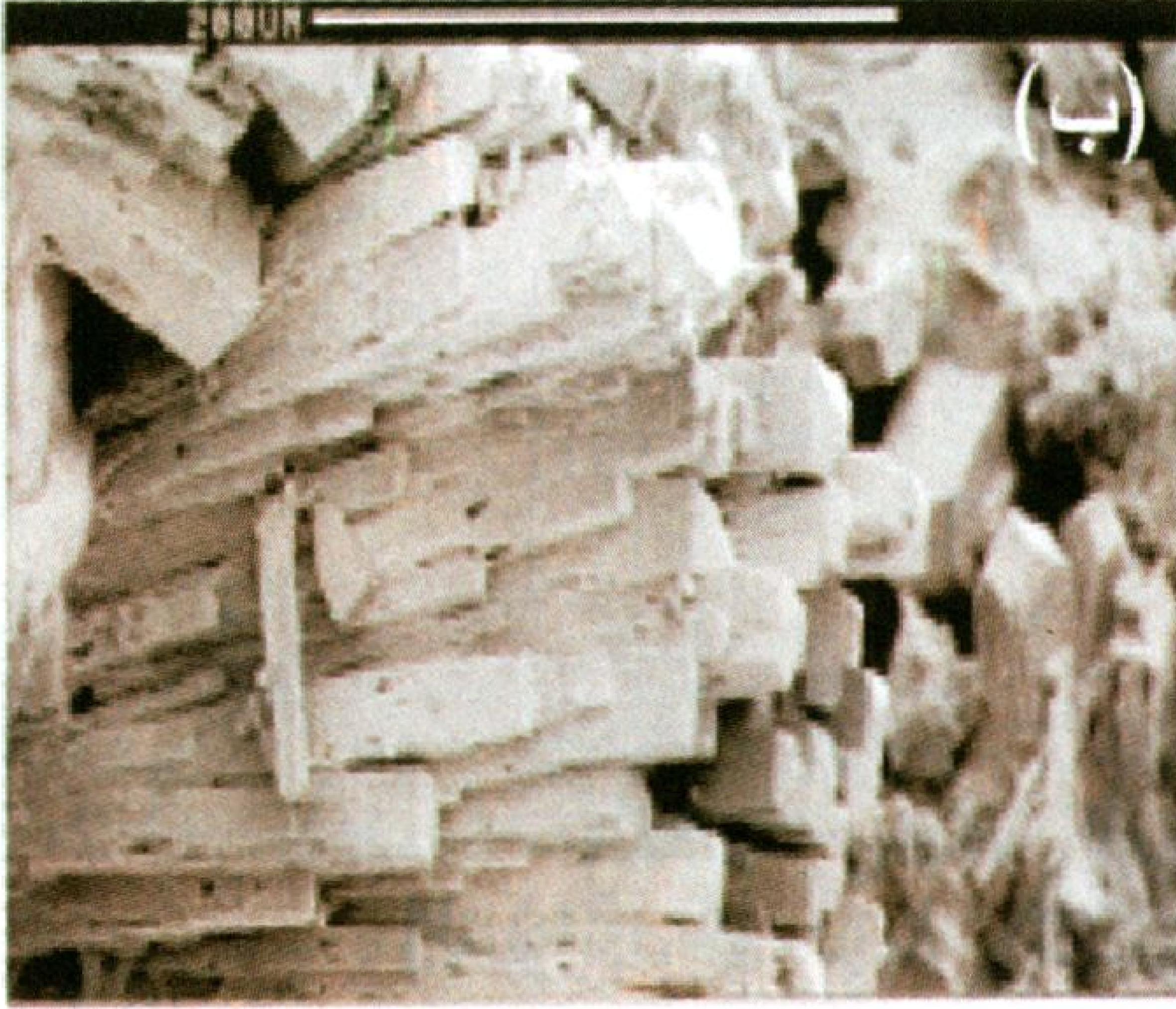
يتبلور المعدن بفصيلة المعينى القائم. تتواجد البلورات على شكل إبري تنتهى بشكل هرمي (شكل ٧-٤٦). كما يوجد على شكل ليفي وعقدي وكتلي.



شكل ٧-٤٦: العلاقة بين المحاور البلورية a, b, c ومحاور مجسم معامل الإنكسار X, Y, Z فى بعض بلورات معادن الزيوليت

اللون أبيض (شكل ٧-٤٧) مع بقع صفراء وبنية. البريق زجاجي إلى مطفى في بعض العينات الصماء. المخدش أبيض. البلورات شفافة إلى نصف شفافة. الصلادة= ٥-٥,٥ والمكسر محاري. الإنفصام كامل فى إتجاهين ومنشورى ولكن يصعب رؤية الإنفصام لصغر حجم البلورات. الوزن النوعى حوالى ٢,٢.





شكل ٧-٤٧: (أ) بلورات إبرية بيضاء اللون لمعدن الناترولييت. (ب) صورة بالميكروسكوب الماسح الإلكتروني لبلورات ليفية للناتروليت.
(http://www.mineralien-verkauf.de/zeogallery/zeolithee.html)

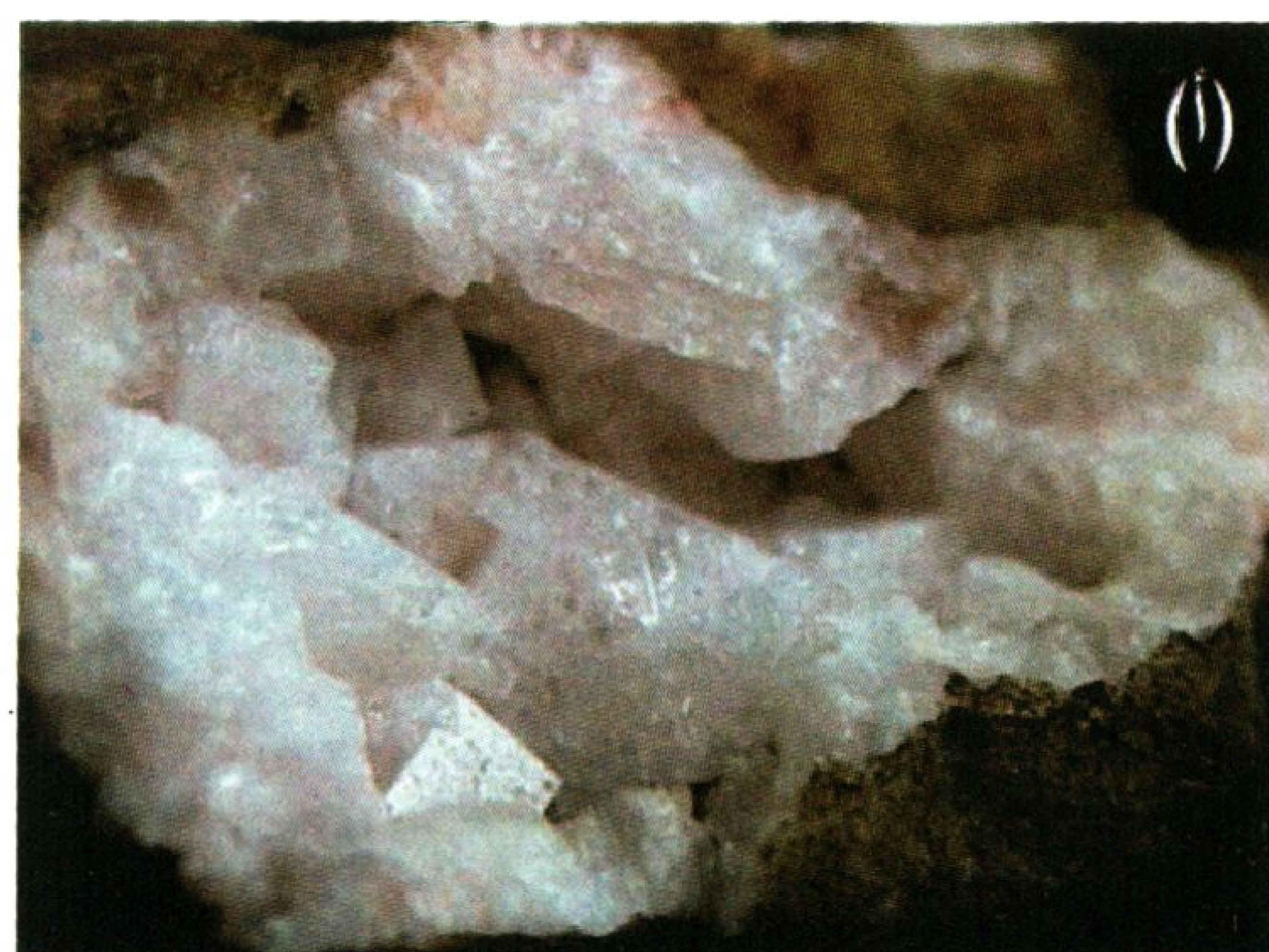
شابازيت Chabazite $(Ca,Na)_2 (Al_2Si_4O_{12}).6H_2O$

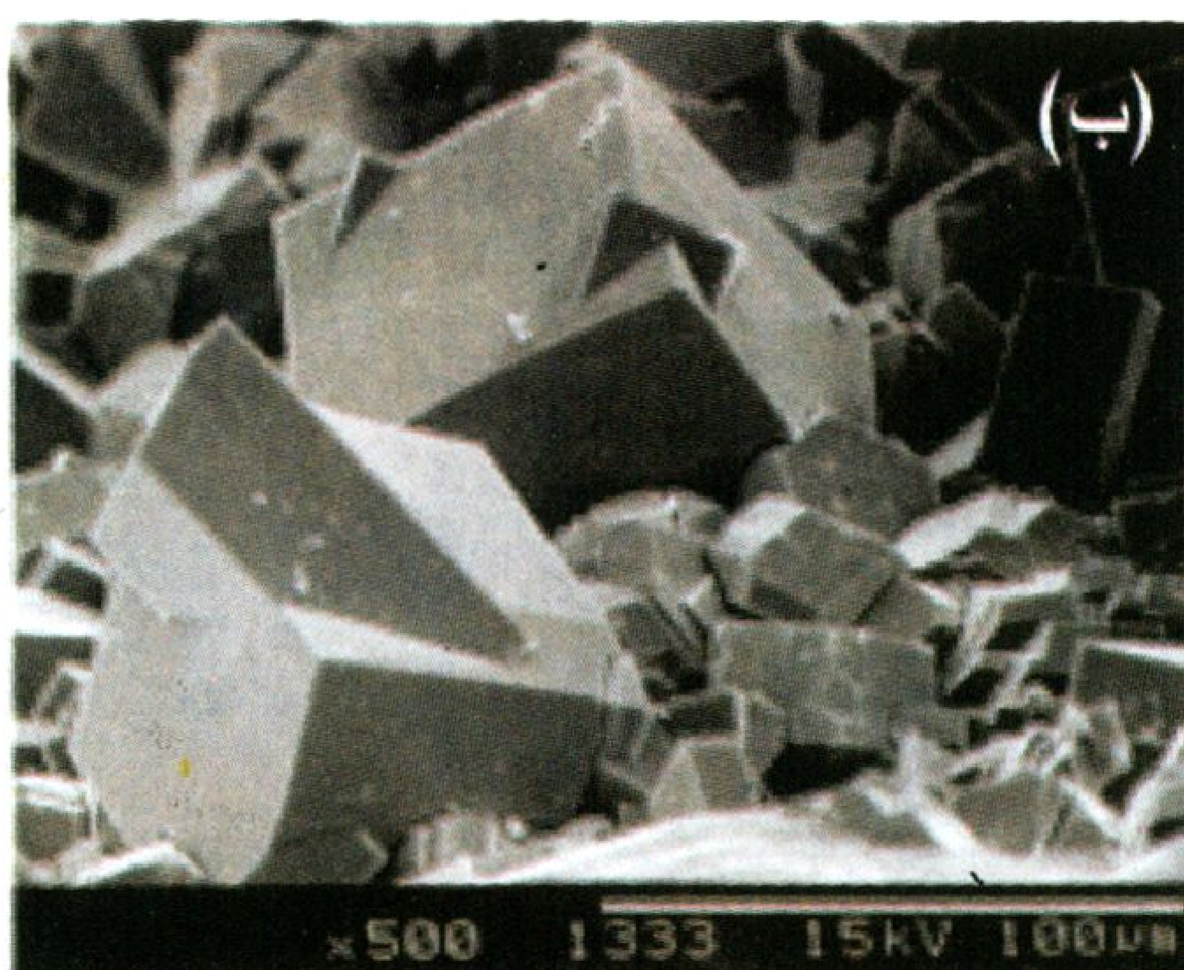
يتبلور المعدن بفصيلة الثلاثى (أنظر شكل ٧-٤٦). توجد البلورات على هيئة معينى الأوجه وتبدو وأنها مكعبية (مكعب كاذب) وذلك لأن الزاوية بين الوجهيه تصل إلى ٩٠ درجة. يوجد المعدن أيضاً على شكل كتل حبيبية. يكثر به التوأمية الإختراقية مع الدوران حول المحور البلورى "c". يظهر المعدن بلون أبيض ووردي وأصفر وأحمر وبني (شكل ٧-٤٨). البريق زجاجي. المخدش أبيض. البلورات شفافة إلى نصف شفافة. الصلادة= ٤- ٥ والإنفصام ضعيف فى ثلاث إتجاهات وموازى لأوجه معينى الأوجه. المكسر غير مستوى. الوزن النوعى= ٢- ٢,٢.

أنالسيم Analcime $Na(AlSi_2O_6).H_2O$

يتبلور المعدن بفصيلة المكعب، نظام سداسي الثماني ويوجد المعدن على شكل بلورات غالباً ما تأخذ شكل الأربعة وعشرون وجهاً شبه منحرف

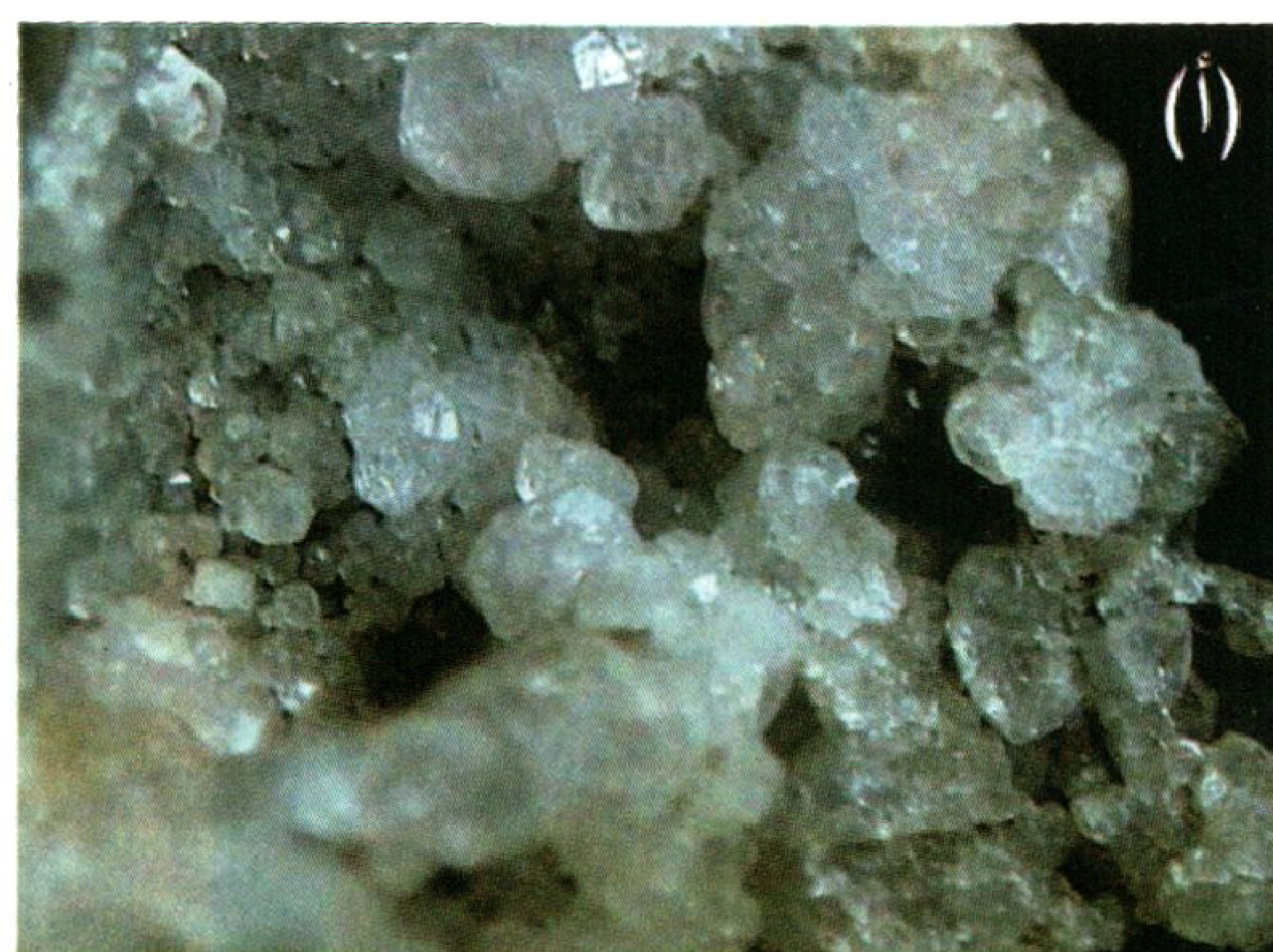
Trapezohedron (شكل ٧-٤٩)، كما يوجد المعدن أيضاً على شكل كتلى وحُبيبي. اللون أبيض أو رمادى مع بقع خضراء وصفراء وحمراء. البريق زجاجي والمخدش أبيض. الصلادة= ٥- ٥,٥ ولايوجد إنفصام. المكسر غير مستوى. الوزن النوعى حوالي ٣,٢.

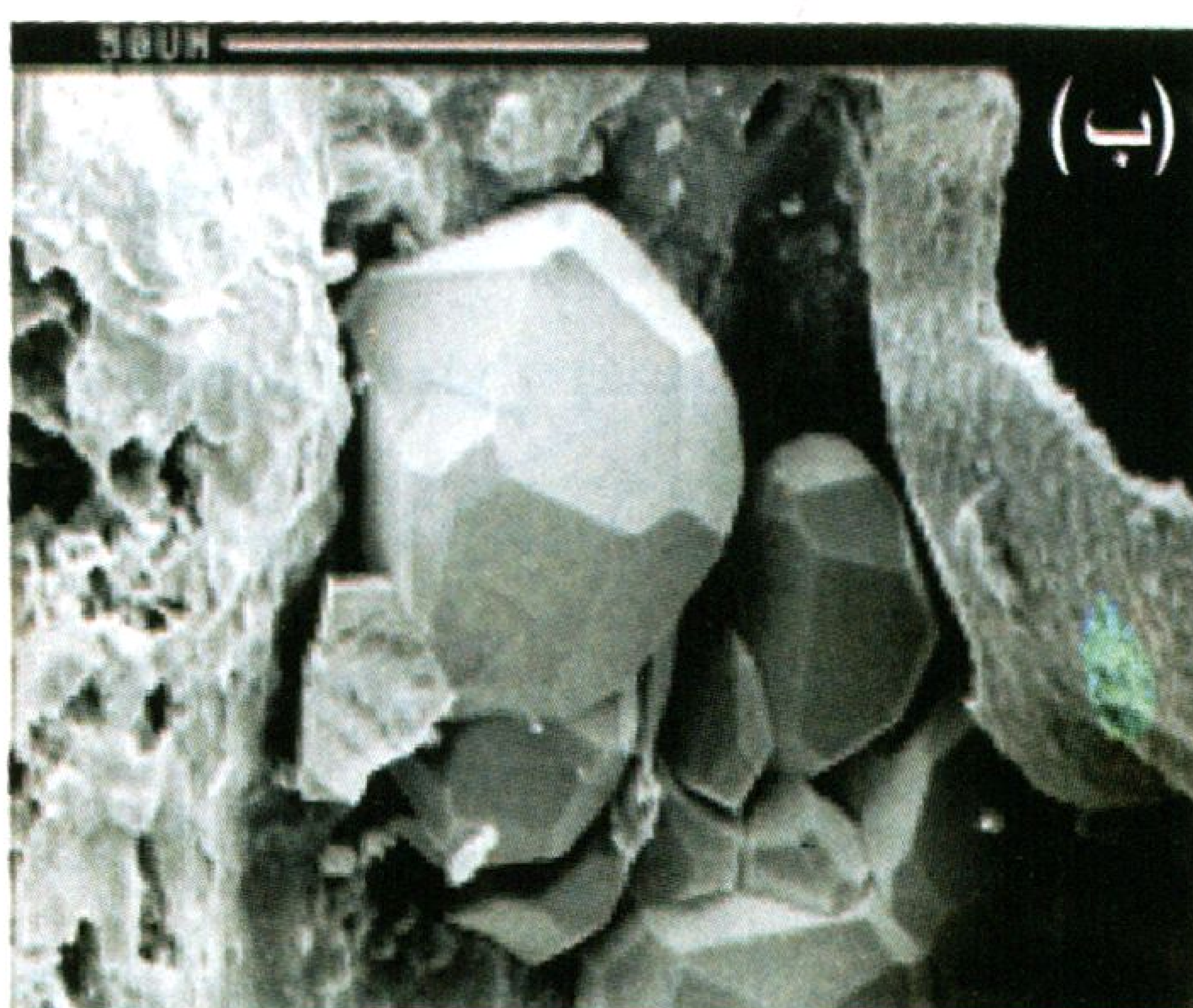




شكل ٧-٤٨: (أ) بلورات بيضاء اللون لمعدن الشابازيت. (ب) صورة بالميكروسكوب الماسح الإلكتروني لبلورات الشابازيت تُظهر توأمية إختراقية.

(http://www.mineralien-verkauf.de/zeogallery/zeolithee.html)





شكل ٧-٤٩: (أ) بلورات بيضاء اللون لمعدن الأنالسيم. (ب) صورة بالميكروسكوب الماسح الإلكتروني لبلورات أنالسيم تُظهر هيئة الأربعة وعشرون وجهاً شبه منحرف.

(http://www.mineralien-verkauf.de/zeogallery/zeolithee.html)

ستيلبيت Stilbite $Ca(Al_2Si_7O_{18}).7H_2O$

يتبلور المعدن فى فصيلة الميل الواحد (أنظر شكل ٧-٤٦) وتظهر البلورات على هيئة صفائحية نحيفة أو على هيئة فتات متجمع. اللون وردى

أو أبيض مع تلوين خفيف من اللون الأصفر أو الأحمر ونادراً يتخذ الستيلبيت اللون الأخضر (شكل ٧-٥٠). البريق زجاجي إلى لؤلؤى. المخدش أبيض. البلورات شفافة إلى نصف شفافة. الصلادة = ٣,٥-٤ والإنفصام كامل فى إتجاه واحد موازى للمسطوح الجانبى. المكسر غير مستوى. الوزن النوعي حوالى ٢,٢.



شكل ٧-٥٠: بلورات خضراء اللون لمعدن الستيلبيت.
(http://www.mineralien-verkauf.de/zeogallery/zeolithee.html)

هيولانديت Heulandite $Ca(Al_2Si_7O_{18}).6H_2O$

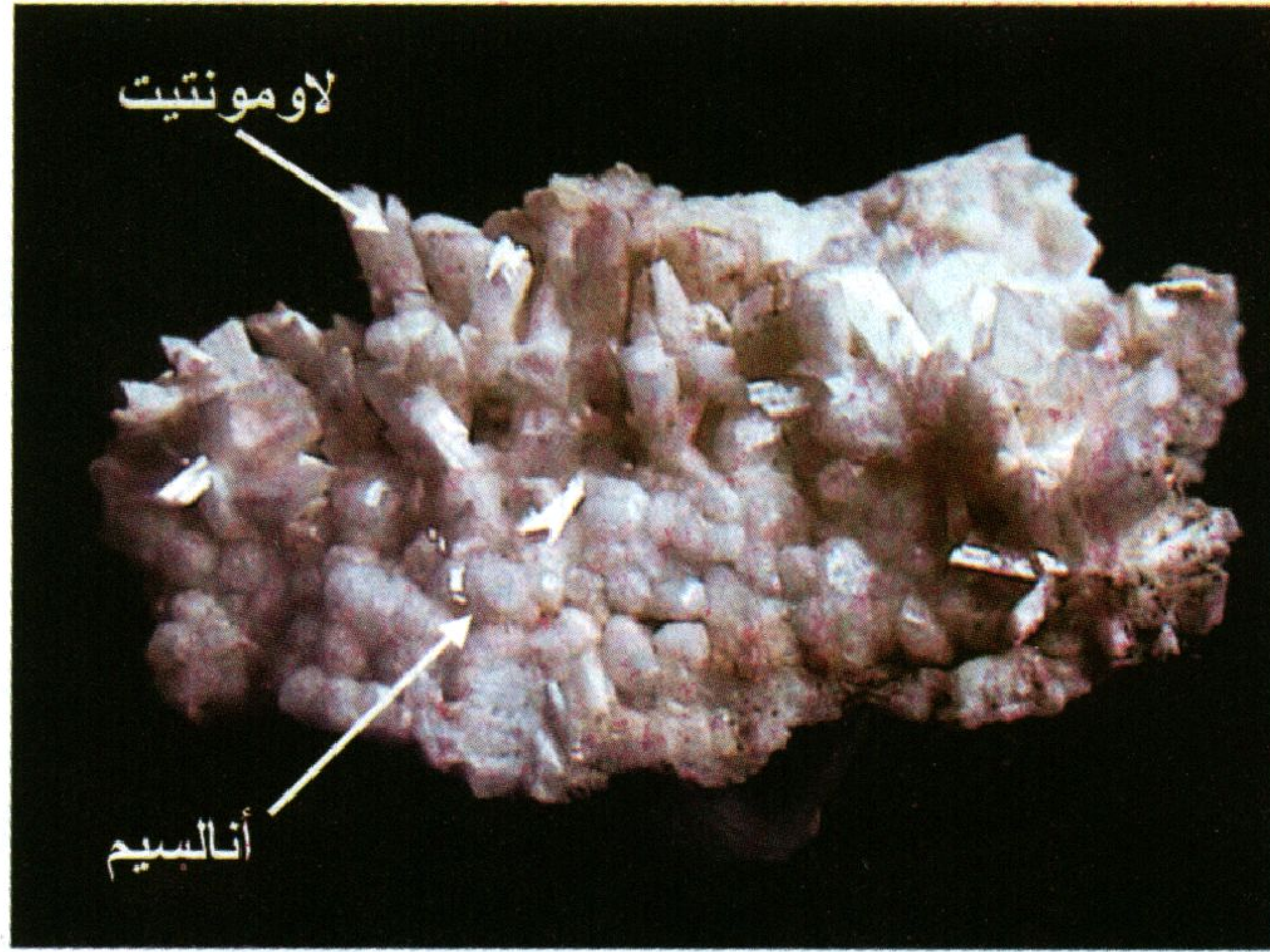
يتبلور المعدن فى فصيلة الميل الواحد (أنظر شكل ٧-٤٦) وتتخذ البلورات أشكال صفائحية أو كتلية. المعدن عديم اللون أو أبيض (شكل ٧-٥١) أو رمادى أو أخضر أو وردى أو أصفر أو أحمر أو بني أو أسود. البريق زجاجي إلى لؤلؤي. المخدش أبيض. تتراوح الصلادة بين ٣,٥ و ٤ والإنفصام كامل فى إتجاه واحد موازى للمسطوح. المكسر غير مستوى. يتزاوح الوزن النوعي بين ٢,١ و٢,٣.



شكل ٧-٥١: بلورات بيضاء اللون لمعدن الهيولانديت.
(http://www.mineralien-verkauf.de/zeogallery/zeolithee.html)

لاومونتيت Laumontite $Ca(Al_2 Si_4O_{12}).4H_2O$

يتبلور المعدن فى فصيلة الميل الواحد وتوجد البلورات على شكل منشورى. المعدن عديم اللون وقد يكون أبيض (شكل ٧-٥٢)· مع لون خفيف وردي أو رمادى أو أصفر أو بني. البريق زجاجي إلى مطفي عند تعرضه للضوء. المخدش أبيض. الصلادة= ٣,٥-٤. الإنفصام كامل فى إتجاهين {010} و {110} وغير كامل بالإتجاه {011}. المكسر محاري إلى غير مستوي. الوزن النوعي= ٢,٣.



شكل ٧-٥٢: بلورات منشورية بيضاء اللون لمعدن اللاومونتيت على معدن الأنالسيم.

(http://www.mineralien-verkauf.de/zeogallery/zeolithee.html)

التواجدات والصحبة المعدنية لمعادن الزيوليت

تنتشر معادن الزيوليت بأماكن عديدة فى العالم كمعادن تتكون تحت ظروف درجات الحرارة المنخفضة وقد تتكون ثانوياً، أى أنها تنشأ عن طريق التغاير Alteration لمعادن أولية. تتواجد معادن الزيوليت كحبيبات دقيقة بفجوات بعض الصخور البركانية مثل البازلت، حيث أنها تترسب من محاليل مائية بعد تبريد الصخور. وتتكون معادن الزيوليت عن طريق:

- تجوية معادن سابقة تحت ظروف عالية من درجة الحامضية.

- تغيرات بعد الترسيب للصخور الرسوبية وخصوصاً الرماد البركانى فى البحيرات المالحة أو بعض البيئات البحرية العميقة.
- عمليات تغاير بفعل المياه الجوفية.
- عمليات تغاير بفعل المحاليل الحرمائية.
- التحول التلامسي.
- التحول الإقليمى منخفض الدرجة.

ومن المعادن المصاحبة: بيرهنيت وأبوفيلليت وبيكتوليت وكالسيت وبيريت وإبيدوت وكلوريت وتيتانيت وأكتينوليت وكوارتز. ومن أهم أماكن تواجده: النرويج وألمانيا وأيسلندا وإيرلاندا والولايات المتحدة الأمريكية والهند.

الاستخدامات

يستخدم الزيوليت فى إمتصاص العديد من المواد مثل الماء والمتبخرات وذلك لما يتمتع به من بنية بلورية بها قنوات تسمح له بإستيعاب مواد خارجية. يستخدم الزيوليت فى تبديل الأيونات بالوسط المحيط به Ion exchanger وخصوصاً فى معالجة الماء بالتخلص من بعض الكاتيونات ثنائية التكافؤ مثل الكالسيوم والماغنسيوم والتى تكّون راسب رمادى مع الصابون. كما يستخدم الزيوليت كمادة محفزة حامضية Acid cataclysis أو كمادة محفزة مؤكسدة Oxidation cataclysis. ومن أهم التطبيقات الصناعية التى يستخدم فيها الزيوليت: تنقية البترول وإنتاج الوقود وصناعة البتروكيمياويات.

References المراجع

١- مراجع عربية

عصام الفيلالى، حمدي عبد النبي، يحيي داود، على عثمان (٢٠٠٧) علم المعادن: مقدمة في علم المعادن. مكتبة الأنجلو المصرية. القاهرة. ٣٥٨ صفحة.

عصام بن يحيى الفيلالى (٢٠٠٥) مقدمة في الصخور المتحولة. مكتبة الأنجلو المصرية. القاهرة. ٣٤٨ صفحة

المساحة الجيولوجية المصرية (١٩٩٥) إنجازات المساحة الجيولوجية في ١٩٩٤-١٩٩٥.

محمد سرى، حامد البدرى ، محمد المغربى (٢٠٠٤) الإنتفاع المأمول لخامات الحراريات المصرية. ندوة الثروة والتنمية في مصر، جامعة الأزهر-الجمعية المصرية لخدمات التعدين. القاهرة. ديسمبر.

محمد عز الدين حلمي (١٩٩١) علم المعادن. مكتبة الأنجلو المصرية، القاهرة، ٤٦٨ صفحة.

وفاء وليم غبريال (٢٠٠٤) خامات الحراريات والسيراميك. ندوة الثروة والتنمية في مصر، جامعة الأزهر- الجمعية المصرية لخدمات التعدين. القاهرة. ديسمبر.

٢- مراجع أجنبية

Abd El-Naby H., Frisch W., Hegner E. (2000) Evolution of the Wadi Haimur Pan-African metamorphic sole, Eastern Desert, Egypt. Journal of Metamorphic Geology, 18, 639-651.

Abd El-Naby H., Frisch W. (2002) Origin of the Wadi Haimur–Abu Swayel Gneiss belt, South Eastern Desert, Egypt: Petrological and geochronological constraints. Precambrian Research, 113, 307-322.

Abd El-Naby H., Dawood Y.H. (In preparation) Mineral chemistry of zircon from the beach sediments of the Nile Delta.

Abdalla, H.M., Mohamed F.H. (1999) Mineralogical and geochemical investigation of emarld and beryl mineralization, Pan-African Belt of Egypt: Genetic and exploration aspects. Journal of African Earth Sciences, 28, 3, 581-598.

Aglietti, E.F. (1994) The effect of dry grinding on the structure of talc. Appl. Clay Sci., 9, 139-147.

Ahmed, Z., Hariri, M.M. (2006) Formation and mineral chemistry of a calcic skarn from Al-Madhiq, SW Saudi Arabia. Chemie der Erde 66, 187–201.

Al Filali I.Y., Abd El-Naby H.H. (2003) Pt-evolution of the pan-african gneisses from Wadi Jithwah of the Arabian Shield, Saudi Srabia: Implications to crustal evolution.Fifth International Conference on the Geology of the Middle East, Cairo, Egypt. 219-232

Al Filali, I.Y. (2004) Metamorphic evolution of the Khamis Mushayt area, Arabian Shield. Annals Geol. Surv. Egypt., 26,131-151.

Al-Adly, R.A., Al-Wakeel M.I. (1998). The role of an Egyptian as a filler in the production of lubricating calcium grease. Bull. of Faculty of Education. Ain Shams University, Egypt., 23, 35-44.

Al-Wakeel, M.I., Haron, Y., Yehiya, A. In press. Processing of an Egyptian bentonite ore for industrial applications.

Andreozzi, G. B., Ottolini, L., Lucchesi, Ss., Graziani, G., Russo, U. (2000) Crystal chemistry of the axinite-group minerals: A multi-analytical approach. American Mineralogist, 85, 698–706.

Armbruster, T. (1985a) Ar, N_2, and CO_2 in the structural cavities of cordierite, an Optical and X-ray single-crystal study. Physics and Chemistry of Minerals, 12, 233–245.

Armbruster, T. (1985b) Crystal structure refinement, Si,Al-ordering, and twinning in "pseudo-hexagonal" Mg-cordierite. Neues Jahrbuch Mineralogie Monatshefte, 255–267.

Armbruster, T. (1986) Role of Na in the structure of low-cordierite: A Single-crystal X-ray study. American Mineralogist, 71, 746-757.

Asiedu, D.K, Suzukib, S., Shibatab, T. (2000) Provenance of sandstones from the Lower Cretaceous Sasayama Group, Inner Zone of Southwest Japan. Sedimentary Geology, 131, 9–24.

Aurisicchio, C, Fioravanti, G., Grubessi, O., Zanazzi, P.F. (1988) Reappraisal of the crystal chemistry of beryl. American Mineralogist, 73, 826-837.

Bailey, S.W. (1991a) Hydrous phyllosilicates: Introduction. Vol. 19 of Reviews in mineralogy. Ed. S.W Bailey,1-8. Mineral. Soc. Amer., Washington, D.C.

Bailey, S.W. (1991b) Micas: Vol. 13 of Reviews in mineralogy. Ed. S.W Bailey,1-8. Mineral. Soc. Amer., Washington, D.C.

Bannister, F.A., Whittard, W.F. (1945) A magnesian chamosite from the Wenlock Limestone of Wickwar, Gloucestershire: Mineral. Mag. 27, 99-111.

Bariand, P., Poullin, J.F. (1978) The pegmatites of Lag man, Nuristan, Afghanistan. Mineralogical Record, 9, 301-308.

Beiersdorfer, R.E., Day, H.W. (1995) Mineral paragenesis of pumpellyite in low-grade mafic rocks Schiffman, P., Day, H.W. (Eds.), Low-grade metamorphism of mafic rocks. Geol. Soc. Am. Spec. Pap. 296, 5–27.

Benbow, R.J., DeJong, B.H., Adams, J.W. (1985) Mica: In Vol. A16 of Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry, 551-562, Weinheim: VCH Publ.

Berggren, T. (1941) Minerals of Varuträsk pegmatite. XXV. Some new analyses of lithium-bearing mica minerals. Geol. För. Förh., 68, P.262.

Bernal, J. D., Megaw, H. D. (1935) Proc. Royal Soc. 151A, 384.

Beus, A.A. (1960) Geochemistry of beryllium. Genetic types of beryl deposits. Izdanie Akademii Nauk SSSR, Moscow.

Beutelspacher, H., Van Der Marel, H. W. (1968) Atlas of electron microscopy of clay minerals and their admixtures. Elsevier, 333 s.

Bilgrami, S.A.(1956) Min. Mag., 31, P.236

Bird, D.K., Spieler, A.R. (2004) Epidote in geothermal System. In Epidotes (Liebscher A. and Frantz G., Eds.) 628 p., Reviews in Mineralogy, 56, Mineralogical Society of America, Washington Dc, 235-300.

Bish, D. (1993) www.galleries.com..

Bloodaxe, E.S., Hughes, J.M., Dyar, M. Darby, Grew, E.S., Guidotti, C.V.(1999) Linking structure and chemistry in the schorl-dravite series. Amer. Mineral., 84, 922 – 928.

Boyd, F.R., (1959) in Researches in Geochemistry, Wiley, New York.

Boyd, F.R. (1954) Carnegie Inst., Washington, Ann, Rep. Dir. Geophys. Lab., 1953-54, p. 109.

Brag, W.L. (1937) Atomic structure of Minerals, Cornell Univ. Press.

Breiter, K., Förster, H-J., Škoda, R. (2005) Chemistry of P-, U-, Nb-, Bi-, Sc-, and F-rich zircon from peraluminous granites: the Podlesí granite system, Czech Republic. Geophysical Research Abstracts, 7, 03481.

Brindley, (1951) In An introduction to the rock forming minerals. Ed. W. A. Deer, R.A. Howie, J. Zussman. 1978.

Brindley, G.W., Zussman, J. (1957) A structural study of the thermal transformation of serpentine minerals to forsterite. Amer. Min., 42, P. 461.

Brooks, C.K., Henderson, P., Rønsbo, J.G. (1981) Rare-earth partition between allanite and glass in the obsidian of Sandy Braes, Northern Ireland. Mineral. Mag., 44, 157– 160.

Brown, N.L., Shairer, J.F. (1932), Amer. J. Sci. 5th Ser., 24, 177-213.

Burger, J. (1991) Talc- USA and Europe competitive markets. Ind. Minerals (January):17-27.

Burri, C., Parker, R.L., Wenk, E. (1967) Die Optische orientierung der plagioclase. Brikhauser Verlag, basel, 333p.

Byström, A. (1942) The crystal structure of cordierite. Arkiv för kemi, Mineralogi Och Geologi, 15B, 12, 1–7.

Cerný, P. (1991 a) Rare-element granitic pegmatites, Part I: Anatomy and internal evolution of pegmatite Deposits. Geosci. Can. (Ore Deposit Models series), 18, 49-67.

Cesare, B., Gómez-Pugnaire, M.T., Sánchez-Navas, A., Grobety, B. (2002). Andalusite-sillimanite replacement (Mazarrón, SE Spain): A microstructural and TEM study. American Mineralogist, 87, 433–444.

Challis, A., Grapes, R., Palmer, K. (1995) Chromian muscovite, uvarovite, and zincian chromite: products of regional etasomatism in Northwest Nelson, New Zealand. Canadian Mineralogist, 33, 1263–1284.

Champness, P.E., Cliff G., Lorimer, G.W. (1976) the identification of asbestos. Journal of Microscopy, 108, 231-249.

Chang, L.L.Y. (2002) Industrial mineralogy: Materials, processes, and uses. Prentice-Hall, New Jersey. 472p.

Chapman, G.P. (1984) The world mica-grinding industry and its markets. Proc. 4th Ind. Minerals intern. Congr, Toronto, 197-203.

Chapman, G. P. (1983) Mica. In Industrial minerals and rocks. 5th ed. Ed. S.J. Lefond, 915-929, New York: Soc. Mining Engineers, AIME.

Churg, A. (1993) Asbestos lung burden and disease patterns in man. In Health Effects of Mineral Dusts. Eds. G.D. Guthrie , Jr., B.T. Mossman. Reviews in Mineralogy, Mineralogical Society of America, 28, 410-424

Cohen, J.P., Ross, F.K., Gibbs, G.V. (1977) An X-ray and neutron Diffraction study of hydrous low cordierite. Am.Min., 62, 67-78.

Coombs, D.S., Alberti, A., Armbruster, T., Artioli, G., Colella, C., Galli, E., Grice, J.D., Liebau, F., Mandarino, J.A., Minato, H., Nickel, E.H., Passaglia, E., Peacor, D.R., Quartieri, S., Rinaldi, R., Ross, M., Sheppard, R.A., Tillmanns, E., Vezzalini, G. (1997): Recommended nomenclature for zeolite minerals: Report of the subcommittee on zeolites of the International Mineralogical Association, Commission on New Mineral and Mineral Names.

Can. Mineral., 35, 1571-1606 (also published (1998): Miner. Mag., 62, 533-571).

Cornish, B.E. 1983. Pyrophyllite: In Industrial Minerals and Rocks. 5th ed. Ed. S.J. Lefond, 1085-1108. New York: Soc. Mining Engineers, AIME.

Dana, J.D, Dana, E.S. (1997) Dana's new mineralogy, The system of mineralogy. John Wily & Sons, New York, USA, 1819 p.

Dana, S.D. (1951) A textbook of mineralogy with an extended treatise on crystallography and physical mineralogy. V. IV, John Wiley& Sons, New York, USA, 851p.

Day, J.D., Taylor, L.A., Floss, C., Mcsween, H. (2006), Petrology and chemistry of MIL 03346 and its significance in understanding the petrogenesis of nakhlites on Mars, Meteoritics & Planetary Science 41, Nr 4, 581–606.

De Lapparent, J. (1937) Origin of bentonite from North Africa. C.R. Soc. Geol. Fr. No. 10, 126-128.

Deer, W.A., Howie, R.A., Zussman, J. (1963) Rock Forming Minerals, Volume 2: Chain Silicates. Longman, London, 379p.

Deer, W.A., Howie, R.A., Zussmann, J. (1966) An Introduction to the rock forming minerals. Longman, Hong Kong, 528 p.

Deer, W.A., Howie, R.A., Zussman, J. (1978) Rock forming Minerals, Volume 2A: Single Chain Silicates. John Wiley & Sons, New York, 668 p.

.A., Howie, R.A., Zussmann, J. (1986) Axinite. In Rock-ing minerals. Disilicates and ring silicates, II ed., Longmans, n and Co.,London, 629 p.

.A., Howie, R.A., Zussman, J. (1989) An introduction to rock ing minerals. Sixteenth edition. Longman, Hong Kong.

.A., Howie R. A., Zussman J. (1992) An introduction to the forming minerals. Essex: Longman. England. 696p.

Dickson, E.M. Ed. (1986) Pyrophyllite: Asia and America Lead, in Raw Materials for The Refractories Industry, 131-143, Industrial Minerals, London.

Dirlam, D.M., Laurs, B.M. Pezzotta, F., Simmons, W.B. (2002) liddicoatite tourmaline from Anjanabonoina, Madagascar. Gems & Gemology, 38, 1, 28–53.

Dixon, J.B. (1977) Kaolinite and serpentine group minerals, In Minerals in Soil Environments, J.B. Dixon and S.B. Weed eds. Soil Science Soc. Of Amer., Madison, Wisconsin. 367-403.

Dona M.D., Brendan M. L., Federico P., William B.S. (2002) Liddicoatite tourmaline fromanjanabonoina, madagascar. Gems & gemology, 38, 1, 28–53.

Donnay, G., Barton, R. (1972) Refinement of the crystal structure of elbaite and the mechanism of tourmaline solid solution. Tschermaks Mineralogische und Petrographische Mitteilungen, 18, 273–286.

Douillet, P., Nicolas, J. (1969) Les mineraux du kaolin-historique-reflexions concernant les diverses classifications et nomenclatures-proposition d'une nomenclature nouvelle. Bull. Soc. Fr. Ceram. 83, 87-114.

Droop, G.T.R., Al-Filali, I.Y. (1989) Magamatism, deformation and high-T, low-P regional metamorphism in the Nabitah mobile belt, southern Arabian Sheild. In: Daly, J.S., Cliff, R.A., Yardley, B.W.D. (eds), Evolution of Metamorphic belts, Geological Society Special Publication No. 43, 469-480.

Droop, G.T.R., Al-Filali, I.Y. (1996) Interaction of aqueous fluids with calcareous metasediments during high-T, low-P regional metamorphism in the Qadda area, southern Arabian Sheild. J. Metamorphic Geol., 14, 613-634.

Du Rietz, T. (1935) Geol. För. Fürh., 57, p. 133

Dubey, C., S., Catlos, E.J., Sharma, B.K. (2005) Modeling of P-T-t paths constrained by mineral chemistry and monazite dating of metapelites in relationship to MCT activity in Sikkim, Eastern

Himalayas. In: metamorphism and crustal evolution (eds. H. Thomas). Atlantic pub., 253-284.

Duncan, J.F., Johnston, J.H. (1974) Single-crystal 57Fe Mössbauer studies of the Site positions in cordierite. Australian Journal of Chemistry, 27, 249–258.

Dutrow, B.L., Foster, C.T., Jr., Henry, D.J. (1999) Tourmaline-Rich pseudomorphs in sillimanite zone Metapelites: Demarcation of an infiltration front. American Mineralogist, 84, 794-805.

Dyar, M.D., Francis, C.A., Wise, M.A., Guidotti, C.V., McGuire, A.V.; Robertson, J.D. (1994) Complete chemical characterization of tourmaline. Eos, Transactions of the American Geophysical Union, 187.

Dyar, M.D., Taylor, M.E., Lutz, T.M., Francis, C.A., Guidotti, C.V., Wise, M. (1998) Inclusive chemical characterization of tourmaline: Mössbauer study of Fe valence and site occupancy. American Mineralogist, 83, 848–864.

El Shazly, E.M., Saleeb Roufaiel G.S., and El-Ramly M F. and Rassmy A.R. (1975a) Mineralogical study of corundum, zincian hercynite and andalusite from pegmatites of Hafafit, Egypt. Egypt. J. Geol., 19, 2, 153-168.

El Shazly, E.M., Saleeb, G.S.R., El-Ramly, M.F., Rassmy, A.R. (1975b) Mineralogical study of anthophyllite, phlogopite and vermiculite from Hafafit, Egypt. Egypt. J. Geol., 19, 2, 105-124.

El-Gharbawi, R.I. (1989) Petrological and petrochemical studies of igneous and metamorphic rocks of Gabal Mudargag area, South Eastern Desert, Egypt. Ph.D. Thesis, Geology Department, Ain-Shams University.

Ertl, A., Hughes, J.M., Rowatke, S.P., Rossman, G. R., London, D., Fritz, E.A. (2003) Mn-rich tourmaline from Austria: structure, chemistry, optical spectra, and relations to synthetic solid solutions. American Mineralogist, 88, 1369–1376.

Evans, B.W., Guggenheim S. (1991) Talc; pyrophyllite and related minerals. In Vol 19 of Reviews in mineralogy. Ed. S.W Bailey., 225-294. Washington, D.C.: Mineral. Soc. Amer.

Evans, H.T.,Jr., Mrose, M.E. (1968) Crystal chemical studies of Cesium beryl. Geological Society of America Special Paper 101, Abstracts For 1966, 63.

Evensen, J.M.D., London, Jj.M., Wendlandt, R.F. (1999) Solubility and stability of beryl in granitic melts. American Mineralogist, 84, 733–745.

Exeley, R.A. (1980) Microprobe studies on REE-rich accessory minerals; implications for Skye granite petrogenesis and REE mobility in hydrothermal systems. Earth Planet. Sci. Lett., 48, 97–110.

Federico, M., Andreozzi, G.B., Lucchesi, S., Graziani, G., Cesar-Mendes, J. (1998) Compositional variation of tourmaline in the granitic pegmatite dykes Of the Cruzeiro mine, Minas Gerais, Brazil. Canadian Mineralogist, 36, 415–431

Fleischer, M., Mandarino, J.A. (1995) Glossary of Mineral Species. Mineralogical Record, Tucson, Arizona, 280 p.

Foit, F.F.,Jr., Rosenberg, P.E. (1979) The structure of vanadium-bearing tourmaline and its implications regarding tourmaline solid solutions. American Mineralogist, 64, 788–798.

Frantz, G., Liebscher, A. (2004) physical and chemical properties of epidote minerals-An Introduction-.In Epidotes (liebscher Aand Frantz G., Eds.) 628 pp., Reviews in Mineralogy, 56, Mineralogical Society of America, Washington Dc, 1-82.

Franz, G., Grundmann, G., Ackermand, D. (1986) Rock forming Beryl from a regional metamorphic terrain (Tauern window, Austria): Parageneses and crystal chemistry. TMPM Tschermaks Mineralogische Und Petrographische Mitteilungen, 35, 167-192.

Frey, R., Yovanovich B., Burghelle, J. (1962) Composition and probable genesis of some decolorizing clays of North Africa. Serv. Min. and Carte Geol. Morocco, Mem. No..38, 65p.

Fujii, N. (1983) The present position of Japanese pyrophyllite. Ind. Minerals (November), 21-27.

Gad, G. E., Talaat A. (1969) Suitability of the egyptian zircon and monazite sands for refractory and electric-insulator-industry. 6th Arab Science Congress, Damascus, November, part 4B , 768-796.

Game P.M. (1954) Min. Mag., 30, P.458.

Garba, I. (1996) Tourmalinization related to Late Proterozoic-Early Paleozoic lode gold mineralization in the Bin Yauri area, Nigeria. Mineralium Deposita 31, 201-209.

Geiger, C. A., Armbruster, T., Khomenko, V., Quartieri, S. (2000) Cordierite I: The coordination of Fe^{2+}. American Mineralogist, 85, 1255–1264.

Giese, R.F. (1975) Interlayer bonding in talc and pyrophyllite Clays and Clay Minerals, 23, 165-166.

Genth, F.A., Penfield, S.L., Pirsson, V.V. (1891) On three new varieties of axinite; (a) Axinite from Franklin, New Jersey. American Journal of Science, 3rd Series, 41, 394-400.

Geological Survey of Egypt. (1984) Potential mineral resources of Egypt. 144p.

Gibbs, G.V. (1966) The polymorphism of cordierite I: The crystal structure of low Cordierite. American Mineralogist, 51, 1068–1087.

Gibbs, G.V., Breck, D.W., Meagher, E.P. (1968) Structural Refinement of hydrous and anhydrous synthetic beryl $Al_2(Be_3Si_6)O_{18}$ and emerald, $Al_{1.9}Cr_{0.1}(Be_3Si_6)O_{18}$. Lithos, 1,275-285.

Goldman D.S., Rossman G.R., Dollase W.A. (1977) Channel constituents in Cordierite. American Mineralogist, 62, 1144–1157.

Goldman, D.S., Rossman, G.R., Parkin, K.M. (1978) Channel constituents In beryl. Physics and Chemistry of Minerals, 3, 225-235.

Gourdant, J. P., Robert, J. L. (1997) The Mg-Ni substitution in synthetic tourmalines: crystal-chemical considerations in the system Na_2O-MgO-NiO-Al_2O_3-B_2O_3-SiO_2-H_2O. Tourmaline Abstracts, 32–33.

Griffin, D.T. (1992) Silicate crystal chemistry. Oxford University Press, New York, 442p.

Griffin, W.L., Slack, J.F., Ramsden, A.R., Win, T.T., Ryan, C.G. (1996) Trace elements in tourmalines from massive sulfide deposits and tourmalinites: Geochemical controls and exploration applications. Economic Geology, 91, 657–675.

Grim, R.E. (1968) Clay Mineralogy. McGraw Hill, New York. 598p.

Grunwald, S. (2002) Secondary Silicates. Soil and Water Sciences. University of Florida.

Gubelin, E.G. (1982) Gemstones of Pakistan: Emerald, ruby and spinel. Gems & Gemology, 18, 140-153.

Guidotti, C.V., Yates, M.G., Grew, E.S., Dyar, M.D., Wiedenbeck, M., Fowler, G. (1997) Stoichiometry of natural tourmaline from western Maine. Geological Society of America Abstracts with Programs, 29(6), A–401.

Halferdahl, L.B.(1961) Chloritoid: its composition, X- ray and optical properties. Stability and occurrence. J. Petr., 2, p.49.

Harraz, H.Z., El-Sharkawy, M.F. (2001) Origin of tourmaline in the metamorphosed Sikait pelitic belt, south Eastern Desert, Egypt. Journal of African Earth Sciences, 33, 2, 391-416.

Hawthorne, F.C. (1996) Structural mechanisms for light-element variations in tourmaline. Canadian Mineralogist, 34, 123–132.

Hawthorne, F.C., Henry, D.J. (1999) Classification of the minerals of the tourmaline Group. European Journal of Mineralogy, 11, 201–215.

Hawthorne, F.C., Mcdonald, D.J., Burns, P.C. (1993) Reassignment of cation site occupancies in tourmaline: Al-Mg disorder in the crystal structure of dravite. American Mineralogist, 78, 265–270.

Hedrick, G.B. (1995) Mica USBM. Annual Review. 12p.Rudolph, S. 2004. Layered Structures: Clays and Lubricants.

Helmy, H.M., Mogessie, A. (2001) Gabbro Akarem, Eastern Desert, Egypt: Cu-Ni-PGE mineralization in a concentrically zoned mafic-ultramafic complex. Mineralium Deposita, 36, 58-71.

Helmy, H.M., Ahmed, A.F., El Mahallawi, M.M., Ali, S.M. (2004) Pressure, temperature and oxygen fugacity conditions of calc-alkaline granitoids, Eastern Desert of Egypt, and tectonic implications. Journal of African Earth Sciences 38, 255–268

Henry, D.J., Dutrow, B.L. (1996) Metamorphic tourmaline and its petrologic Applications. Reviews of Mineralogy, 32, 503–558.

Henry, D.J., Guidotti, C.V. (1985) Tourmaline as a petrogenetic indicator mineral: An example from the staurolite-grade metapelites of NW Maine. American Mineralogist, 70, 1–15.

Henry, D.J., Kirkland, B.L., and Kirkland, D.W. (1999) Sector-zoned tourmaline from cap rock of a salt dome. European Journal of Mineralogy, 11, 217–225.

Hermann, J. (2002) Allanite: thorium and light rare earth element carrier in subducted crust. Chemical Geology, 192, 289– 306.

Hess, H.H., Smith, R. J. and Dengo, G. (1952) Antigorite from the vicinity of Caracas, Venezuela. Amer. Min., v. 37, P.68.

Hey, M.H. (1954) A new review of the chlorites. Min. Mag., 30, 277p.

Hochella, M., Brown, G., Ross, F., and Gibbs, G. (1979) High temperature crystal Chemistry of hydrous Mg- and Fe-cordierites. American Mineralogist, 64, 337–351

Holyl, M.S. (1980) Geochemical studies on granites from the Eastern Desert, Egypt. M.Sc. Thesis, Faculty of Science, Al Azhar University.

Hussein, S.A., Al-Wakeel, M.I., Khazbk, A.S. (1997) Geochemistry and beneficiation of Egyptian talc-carbonate rocks. 3rd geochemistry Conf. Sept., Alexandria, Egypt, V. I, 287-315.

Hutton, C.O. (1947) Contributions to the mineralogy of New Zealand. Part 3. Trans. Roy. Soc. New Zealand, 76, P.481.

Hutton, C.O., Seelye, F.T. (1941) Composition and properties of some New Zealand glauconites. Amir. Min., 26, P.593.

Iiyama, T. (1960) Recherches sur Ie role de l'eau dans la structure et la polymorphisme de la cordierite. Bull. Soc. Fr. Mineral., 83,155-178.

Jiang, S., Palmer, M.R, Yeats, C. J. (2002) Chemical and boron isotopic compositions of tourmaline from the Archean Big Bell and Mount Gibson gold deposits, Murchison Province, Yilgarn Craton, Western Australia. Chemical Geology, 188, 229–247.

Jiang, S., Palmer, M.R., Slack, J.F. (1997) Alkali-deficient tourmaline from the Sullivan Pb–Zn–Ag Deposit, British Columbia. Mineral. Mag., 61, 853-860.

Johnston, R.W. (1949) Min. Mag., 28, P. 505.

Keegan N. (1997) Minerals in paper: The weighting game. Ind. Minerals, 61-79.

Keller, P. (1981) Emeralds of Colombia. Gems & Gemology, 17, 80-92.

Kerr, P. F., Hamilton, P.K., Pill, R. J. (1950) Analytical data on reference clay materials. Prelim. Report No. 7. Reference clay minerals. Amer. Petroleum Inst., Res. Proj. 49, Columbia Univ., New York, P.38.

Klein, C. (1964) Cummingtonite-grunerite series: A chemical, optical and X-ray study. American Mineralogist, 49, 963-982.

Klein, C. (1993) Rocks, Minerals, and a dust world.: In Health Effects of Mineral Dusts. Eds. G.D. Guthrie , Jr., B.T. Mossman. Reviews in Mineralogy, Mineralogical Society of America, 28, 7-60.

Klein, C., Hurlbut Jr. C. (1993) Manual of Mineralogy (after J.D. Dana, revised 21st edition.). N.Y. John Wiley and Sons. 681p.

Kojima, G. (1944) On stilpnomelane in greenschists in Japan. Proc. Imperial Acad. Tokyo, 20, 322-328.

Kostov, I. (1968) Mineralogy. 1st English edition, Oliver and Boyd LTD, London. 587 p.

Kristóf, É., Juhāsz, A.Z., Vasānyi, I. (1993) The effect of mechanical treatment on the crystal structure and thermal behavior of kaolinite. Clays and Clay Minerals, 41, 608-612.

Kunasz, I.A. (1994) Lithium resources. In Industrial minerals and rocks 6th ed. Ed. D.D. Carr, Littleton, Colorado,: Soc. Mining, Metal. & Exploration, 631-642.

Kunze, G. (1961) Antigorit. Strukturtheoretische Grundlagen und ihre praktische Bedeutung für die weiters Serpentin-Forschung, Fortschr. Mineral., 39, 206-324.

Larsen, E.S. (1942) Alkali rocks of Iron Hill, Gunnison County, Colorado. U. S. Geological Survey Professional paper 197a.

Leake, B.E. (1978) Nomenclature of amphiboles. American Mineralogist, 63, 1023–1052.

Leake, B. E., Woolley, A. R., Arps, C. E. S., Birch, W. D.,Gilbert, M. C., Grice, J.D., Hawthorne,F.C., Kato, A., Kisch, H.J., Krivovichev, V.G., Linthout, K., Laird, J., Mandarino, J., Maresch, W.V., Nickel, E.H., Rock, N.M.S., Schumacher, J.C., Smith, D.C.,Stephenson, N.C.N., Ungaretti, L., Whittaker, E.J.W., Youzhi, G. (1997) Nomenclature of amphiboles: Report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on new minerals and mineral names. Mineralogical Magazine, 61, 295.321.

Leake, B.E., Woolley, A., Birch, W.D., Burke, E.A.J., Ferraris, G., Grice, J.D., Hawthorne, F.C., Kisch, H.J. Krivovichev, V.G., Schumacher, J.C., Stephenson, N.C.N., Whittaker, E.J.W. (2004) Nomenclature of amphiboles: Additions and revisions to the International Mineralogical Association's amphibole nomenclature. American Mineralogist, 89, 883–887

Lee, J.H., Guggenheim S. (1981) Single crystal X-ray refinement of pyrophyllite-1Tc.American Mineralogist, 66, 350-357.

Liebscher, A., Frantz, G. .(2004) Epidotes. Reviews in Mineralogy, 56, Mineralogical Society of America, Washington Dc, 235-300.

Lind, Th., Schmetzer, K., Bank, H. (1984) Schleifuwurdige blaue und Grune berylle (aquamarine und smaragde) aus Nigeria. Zeitschrift der Deutschen Gemmologichen Gesellschaft, 33, 128-138.

Liou, J. G. (1973) Synthesis and Stability Relations of Epidote, $Ca_2Al2FeSi_3O_{12}(OH)$. J. Petrology, 14, 381-413.

London, D. (1999) Stability of tourmaline in peraluminous Granite systems: the boron cycle from anatexis to hydrothermal Aureoles. European Journal of Mineralogy, 11, 253-262.

Lumpkin, G. R., Ribbe, P.H. (1979) Chemistry and physical properties ofaxinites. Am. Mineral., 64, 635-645.

Mackenzie, R.C. (1957b) Saponite from Allt Ribhein, Fiskavaig Bay, Skye. Min. Mag., v. 31, P.672.

Mackenzie, R.C., Walker, G.F., Hart, R. (1949) Illite occurring in decomposed granite at Ballater, Aberdeenshire. Min. Mag., v. 28, P.704.

Mackenzie, R.C. (1957) The thermal investigation of clays. Min. Soc. London.

Malcherek, T., Domeneghetti, M. C., Tazzoli, V., Ottolini, L., Mccammon, C., Carpenter, M. A. (2001). Structural properties of ferromagnesian cordierites. American Mineralogist, 86, 66–79.

McDonald, D.J., Hawthorne, F.C., Grice, J.D. (1993) Foitite, $[Fe^{2+}(Al,Fe^{3+})]Al_6Si_6O_{18}(BO_3)_3(OH)_4$, a new alkali-deficient tourmaline: description and crystal structure. American Mineralogist, 78, 1299–1303.

Mesaed, A.A., Surour, A.A. (2000) Mineral chemistry and mechanism of Formation of the Bartonian glaucony of El-Gedida mine, El Bahriya Oases, Egypt. Egyptian Mineralogist, 12, 1-28.

Michailidis, K.M. (1998) Tourmaline concentrations in meta-sedimentary rocks of the Efkarpia-Gerakario area in Macedonia, Northern Greece. Chemie Erde, 58, 80-97.

Michailidis, K.M., Kassoli-Fournaraki, A. (1994) Tourmaline concentrations in migmatitic metasedimentary rocks of the Riziana

and Kolchiko areas in Macedonia, northern Greece. European Journal Mineralogy, 6, 557-569.

Miyashiro A., Seki, Y. (1958) Enlargement of the composition field of epidote and piemontite with rising temperature. Am. J. Sci. 256, 423–430.

Miyashiro, A. (1957) Cordierite-indialite relations. American Journal of Science, 255, 43-62.

Morgan, G.B., London, D. (1989) Experimental reactions of amphibolite with boron-bearing aqueous fluids at 200 Mpa: implications for tourmaline Stability and partial melting in mafic rocks. Contributions to Mineralogy and Petrology, 102, 218–297.

Morosin, B. (1972) Structure and thermal expansion of beryl. Acta Crystallographica, 28, 1899-1903.

Muhongo, S., Tuisku, P., Mtoni, Y. (1999) Pan-African pressure-temperature evolution of the Merelani area in the Mozambique Belt in northeast Tanzania. Journal of African Earth Sciences 29, 353–365.

Murry, H.H. (1988) World kaolins-diverse quality needs permit different resource types. Proc. 8th Ind. US. Minerals Int'l Congress. Metal bulletin, London, 127-130.

Murry, H.H. (1991) Kaolin minerals: Their genesis and occurrences. In Hydrous Phyllosilicates (exclusive of mica). S.W. Baily ed. Reviews in Mineralogy, Mineralogical Society of America. 19, 67-89.

Nagashima, M. (2006) Hydrothermal syntheses of epidote and piemontite on the $Ca_2 Al_2Fe^{3+}Si_3O_{12}(OH)$-$Ca_2Al_2Mn^{3+}Si_3O_{12}(OH)$ at relatively low pressures of 200-400 MPa. Jour Mineralogical amd Petrological Sciences, 101, 1-9

Nathieson, A.McL., Walker, G.F. (1954) Crystal structure of magnesium vermiculite. Amer. Min., 39, P.231.

Neder, R.B., Burghammer M., Grast T., Schulz H., Bram A., Fiedler G. (1999) Refinement of the kaolinite structure from single-crystal synchrotron data. Clays and Clay Minerals, 47, 487-494.

Nesse, W. (2000) Introduction to mineralogy. Oxford University Press. 442p.

Neto, M., Caby, R. (1999) Neoproterozoic high-pressure metamorphism and tectonic constraint from the nappe system south of the São Francisco Craton, southeast Brazil. Precambrian Research 97, 3–26

Neumayr, P., Hoinkes, G., Puhl, A., Mogessie, A., Khudeir, A.A. (1998) The Meatiq Dome (Eastern Desert, Egypt) a Precambrian metamorphic core complex: Petrological and Geological evidence. J. Metamorphic Geol., 16, 259-279.

Nicholson, P.M. (1980) The geology and economic significance of the Golden Dyke dome, Northern Territory. In: Ferguson, J., Goleby, A.B. (Eds.), Uranium in the Pine Creek Geosycline. International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, 319-334.

Nolan, J. (1969) Physical properties of synthetic and natural pyroxenes in the system diopside-acmite. Mineralogical Magazine 37, 216-229.

Novozhilov, A.I., Voskresenskaya, I.E., Samoilovich, M.I. (1969) Electron paramagnetic resonance study of tourmalines. Soviet Physics-Crystallography, 14, 416–418.

Nureki, T. (1967) Finding of axinite-schist in the Sangun metamorphic zone at Mitake, Yamaguchi Prefecture, southwest Japan. J. Sci. Hiroshima Univ., Ser. C, 5, 241-253.

O'Driscoll, M. (1983) South Korea's minerals industry-imports prove seoul-destroying, Ind. Minerals (February).18-37.

Ozaki, M. (1969) Notes on the chemical composition of axinite. Sci. Rep. Fac. Sci. Kyushu Univ., Geol., 9, 129-142.

Ozaki, M. (1970) The chemical variation of axinite in reference to their modes of occurrence. J. Jap. Assoc. Mineral. Petrol. Econ. Geol., 64, 157-172.

Ozaki, M. (1972) Chemical composition and occurrence of axinite. Kumamoto J. Sci., Geol., 9, 1-34.

Pandit M.K., Carter L.M., Ashwal L.D., Tucker R.D., Torsvik T.H., Jamtveit B., Bhushan S.K. (2003) Age, petrogenesis and significance of 1 Ga granitoids and related rocks from the Sendra area, Aravalli Craton, NW India. Journal of Asian Earth Sciences, 22, 363–381.

Pankrath, R., Langer, K. (2002) Molecular water in beryl, VIAl2 [Be3Si6O18]·nH2O, as a function of pressure and temperature: An experimental study. American Mineralogist, 87, 238–244.

Pawley, A. R., Holloway, J. R. (1993) Water sources for subduction zone volcanism: New experimental constraints: Science, 260, 664-667.

Pe-Piper, G. (2000) mode of occurrence, chemical variation and genesis of mordenite and associated zeolites from the Morden area, Nova Scotia, Canada. The Canadian Mineralogist, 38, 1215-1232.

Pepper, O. (2001) Muscovite. www.galleries.com.

Perkins, D. (2002) Mineralogy. Second Edition, Prentice Hall, Inc. Upper Saddle River, New Jersey, 483p.

Pieczka, A., Kraczka, J. (1994) X-ray and Mo¨ssbauer investigations of tourmalines from Tatra Mts. Mineralogia Polonica, 25, 63–72.

Poli, S., Schmidt, M. W. (1995) H_2O transport and release in subduction zones: Experimental constraints on basaltic and andesitic systems: J. Geophys. Res., 100, B11, 22,299-22,314.

Prasad, M.S., Reid, K.J., Murray, H.H. (1991) Kaolin: processing, properties and applications. Appl. Clay Sci. 6, 87-119.

Proctor, K. (1984) Gem pegmatites of Minas Gerais, Brazil: Exploration, Occurrence, and aquamarine deposits. Gems & Gemology, 20, 78-100.

Putnis, A. (1980a) The distortion index in anhydrous Mg-cordierite. Contributions to Mineralogy and Petrology, 74, 135-141.

Putnis, A., Mcconnell, J. D.C. (1980) Principles of Mineral Behaviour. Blackwell Scientific Publications, 258p.

Ragab, A.I., Meneisy M.Y., Taher, R.M. (1978) Contribution to the petrogenesis and age of Aswan granitic rocks, Egypt. N. jb. Miner. Abh., 133, 1, 71-87.

Raith, J. G., Riemer, N., Schöner, N., Meisel, T. (2004) Boron metasomatism and behaviour of rare earth elements during formation of tourmaline rocks in the eastern Arunta Inlier, central Australia. Contrib Mineral Petrol 47: 91–109.

Richardson, S.W. (1966) Staurolite Stability in a Part of the System Fe-Al-Si-O-H. J. Petrology.1968; 9: 467-488

Rodriguez, C. (2000) The petrology and geochemistry of diverse crustal xenoliths, Tatara-San Pedro Volcanic Complex, Chilean Andes. Ph.D. Thèse Genève Facultẽ de Science, Universitẽ de Genẽve. Genẽve.

Roe, L.A. (1983) Talc and pyrophyllite. In Industrial Minerals and Rocks. Soc. Min. Eng., AIME, 5th ed., New York, 1140-1147.

Rosenberg, P.E., Foit, F.F.Jr. (1975) Alkali-free tourmalines in the system $MgO-Al_2O_3-SiO_2-B_2O_3-H_2O$ (abstr.) Geol..Soc. Am. Ann. MeetingAbstr. Progr., 1250-1251.

Rosenberg, P.E., Foit, F.F. (1979) Synthesis and characterization of alkali-free Tourmaline. American Mineralogist, 64, 180–186

Ross, C.S., Hendricks, S.B. (1945) Minerals of the montmorillonite group. U. S. Geol. Surv., Prof. paper 205B.

Ross, M. (1981) The geologic occurrences and health hazards of amphiboleand serpentine asbestos. In D.R. Veblen, Ed. Amphiboles and other hydrous pyriboles. Mineralogy, Rev. Mineral. 9A, 279-323.

Rost, R. (1944) Contribution to the knowledge of clay minerals. Rozpravy České Akad., 54, 15 (M.A. 10-22).

Rubin, J.N., Henry, C.D., Price, J.G. (1989) Hydrothermal zircons and zircon overgrowths, Sierra Blanca Peaks, Texas. American Mineralogist, 74, 865-869.

Rudolph, S. (2004) Büro für angewandte Mineralogie· D-47918 Tönisvorst

Sabine, P.A. (1950) The optical properties and composition of the acmitic pyroxenes. Mineralogical Magazine 29, 113-125.

Sadran, G., Millot G., Bonifas, M. (1955) The origin of bentonite deposits at Lalla Maghnia (Oran). Ser. Carte geol., Algeria, Bull. No. 5, 213-234.

Sanero, E., Gottardi, G. (1968) Nomenclature and crystal chemistry ofaxinites. Am. Mineral., 53, 1407-1411.

Sauer, D.A. (1982) Emeralds from Brazil. International Gemological Symposium, Proceedings, 357-377.

Sawka, W.N., Chappell, B.W., Norrish, K. (1984) Light-rare-earth element zoning in sphene and allanite during granitoid fractionation. Geology, 12, 131–134.

Schmetzer, K., Bank, H. (1984) Crystal chemistry of tsilaisite (manganese tourmaline) from Zambia. Neues Jahrbuch für Mineralogie Monatshefte, 61–69.

Schmidt, M. W., and Poli, S. (1998) Experimentally based water budgets for dehydrating slabs and consequences for arc magma generation. Earth Planet.Sci.Let., 163, 361-379.

Schmidt, M.W., Thompson, A.B. (1996) Epidote in calc-alkaline magmas: An experimental study of stability, phase relationships, and the role of epidote in magmatic evolution. American Mineralogist, 81, 462-474.

Schreier, H. (1989) Asbestos in the natural environment. Elsevier, New York, 159p.

Schreyer, W. (1985) Experimental studies on cation substitutions and fluid incorporation In cordierite. Bulletin de Minéralogie, 108, 273–291.

Schreyer, W., Chinner, G.A. (1966) Staurolite- Quartzite Bands in Kyanite Quartzite at Big Rock, Rio Arriba County, New Mexico. Contributions to Mineralogy and Petrology, 12, 223-244.

Schreyer, W., Schairer, J.F. (1961) Compositions and structural states of anhydrous Mg-cordierites: a reinvestigation of the central part of the system MgO-Al_2O_3-SiO_2. Journal of Petrology, 2, 324–406.

Sepahi, A., Whitney, D.L., Baharifar, A.A. (2004) Petrogenesis of andalusite-kyanite-sillimanite veins and host rocks, Sanandaj-Sirjan metamorphic belt, Hamadan, Iran. Journal of Metamorphic Geology, 22, 119-134.

Serdyuchenko, D.P. (1980) Different positions of boron in tourmaline lattices. Doklady of the Academy of Sciences of the USSR, Earth Sciences Sections, 254, 177–179.

Shigley, J.E., Foord, E.E. (1985) Gem-quality red beryl from the Wah Wah Mts., Utah. Gem & Gemology, 4, 208-221.

Sinkankas, J. (1981) Emerald and other beryls. Chilton Book Company, Radnor, Pennsylvania, U.S.A., 665 pp.

Slack, J.F. (1996) Tourmaline associations with hydrothermal ore deposits. Reviews of Mineralogy, 33, 559–643.

Slack, J.F., Herriman, N., Barnes, R.G., Plimer, I.R. (1984) Stratiform tourmalinites in metamorphic terranes and their geologic significance. Geology, 12, 713-716.

Slack, J.F., Ramsden, A.R., Griffen, W.L., Win, T.T., French, D.H., Ryan, C.G. (1999) Trace elements in tourmaline from the Kidd Creek massive sulfide deposit and vicinity, Timmins, Ontario: a proton microprobe study. Economic Geology Monograph, 10, 415–430.

Smith, J.R. (1958) The optical properties of heated plagioclase. American Mineralogist, 43, 1179-1194.

Snäll, S., Liljefors, T. (2000) Leachability of major elements from minerals in strong acids. Journal of Geochemical Exploration, 71, 1–12.

Speer, J.A. (1982) Zircon. Mineralogical Society of America, Reviews in Mineralogy, 5, 67-112.

Spiegel C., Siebel W., Frisch W., Berner Z. (2002) Nd and Sr isotopic ratios and trace element geochemistry of epidote from the Swiss Molasse Basin as provenance indicators: implications for the reconstruction of the exhumation history of the Central Alps. Chemical Geology, 189, 231–250

Sugiura, K. (1959) The water problem of cordierite. Bull. Tokyo Inst. Tech., Ser. B. I, 1-26.

Surour, A.A., El-Kammar, A.A., Arafa, E.H., Korany, H.M. (2003) Dahab stream sediments, southeastern Sinai, Egypt: a potential source of gold, magnetite and zircon. Journal of Geochemical Exploration 77, 25–43.

Takashima, Y., Ohashi, S. (1968) The Mössbauer spectra of various natural minerals. Bulletin Chemical Society of Japan, 88–93.

Tanner, Jr. J.T. (1994) Mica. In Industrial minerals and rocks. 6th ed. Ed. D.DS. Carr, 693-710, Soc. Mining, Metal. & Exploration. Littleton, Colorado

Taylor, A.M., Terrell, B.C. (1967) Synthetic tourmalines containing elements of The first transition series. Journal of Crystal Growth, 1, 238–244.

Taylor, M.C., Cooper, M.A., Hawthorne, F.C. (1995) Local charge-compensation In hydroxl-deficient uvite. Canadian Mineralogist, 33, 1215–1221.

Taylor, S.K. (1964) The abundance of chemical elements in the continental crus-a new table. Geochimica et Cosmochimica Acta, 28, 1273–1285.

Thomas, M. (2004) Boron metasomatism and behaviour of rare earth elements during formation of tourmaline rocks in the eastern Arunta Inlier, central Australia. Contrib Mineral Petrol., 147, 91–109.

Tilley, C.E. (1938) The status of hornblende in low-grade metamorphic zones of green schists. Geol. Mag., 75, P.497.

Tobi, A.C., Kroll, H. (1975) Optical determination of the An-content of plagioclases twinned by the Carlsbad-low: A revised chart. American Journal of Science, 275, 731-736.

Todor, D.N. (1976) Thermal analysis of minerals. Abacus Press, England, 256p.

Tourn, S.M., Herrmann, C.J., Ametrano, S., De Brodtkorb M.K. (2004) Tourmalinites from the Eastern Sierras Pampeanas, Argentina. Ore Geology Reviews, 24, 229–240.

Tribuzio, R., Messig, B., Vannucc, R., Bottazzi, P. (1996) Rare earth element redistribution during high-pressure low-temperature metamorphism in ophiolitic Fe-gabbros (Liguria, northwestern Italy): implications for light REE mobility in subduction zones. Geology, 24, 711 –714.

Ullrich, B., Raab, S. (1993) Unersuchungen zum plastisch-mechanischen Verhalten von ausgewahlten schichtsilikaten und schichtsilikatgestninen. Chemie der erde, 53, 79-91.

Vance, E.R., Price, D.C. (1984) Heating and radiation effects on optical and Mössbauer spectra of Fe-bearing cordierites. Physics and Chemistry of Minerals, 10, 200–208

Veblen, D.R., Wylie, A.G. (1993) Mineralogy of amphiboles and 1:1 layer silicates. In Health effects of mineral dusts. Eds G.D. Guthrie, Jr., and B.T. Mossman, Reviews in Mineralogy, Mineralogical Society of America, 28, 61-137.

Venkatasetty, H. (1984) Primary lithium batteries. In Lithium battery technology. Ed. H.V. Venkatasetty, 61-78, New York. John Wiley & sons.

White, R.E. (1987) Introduction to the principles and practice of soil science. Blackwell Scientific Publ. Inc.

Whitney, D. L. (2002) Coexisting andalusite, kyanite, and sillimanite: Sequential formation of three Al2SiO5 polymorphs during progressive metamorphism near the triple point, Sivrihisar, Turkey. American Mineralogist, 87, 405–416.

Whitney, D.L., Ghent, E.D. (1993) Prograde reactions and garnet zoning reversals in staurolite schist, British Columbia: implications for thermobarometric interpretations. Journal of Metamorphic Geology, 11, 779-788.

Winchell, A.N. (1938) The anthophyllite and cummingtonite-grunerite series. American Mineralogist, 23, 329-333.

Winchell, A.N. (1945) Variations in composition and optical properties of the calciferous amphiboles. American Mineralogist 28, 27-50.

Winter J.D. (2001) An introduction to igneous and metamorphic petrology. Prentice Hall.

Wood, D.L., Nassau, K. (1967) Infrared spectra of foreign molecules in beryl. Journal of Chemical Physics, 47, 2220–2228.

Wood, D.L., Nassau, K. (1968) The characterization of beryl and emerald by visible and infrared spectroscopy. American Mineralogist, 55, 727–734.

Wood, S. A., Ricketts, A. (2000) Allanite-(Ce) from the Eocene Casto granite, Idaho: response to hydrothermal alteration. Canadian Mineralogist, 38, 81-100.

Yada, K. (1971) Study of microstructure of crysotile asbestos by high resolution electron microscope. Acta Cryst., A27, 659-664.

Yokoyama, K. (1957) Sci. Rep. Tohoka univ., 3rd ser., 5, 373

Zaremba, T. (1995) Thermal transformations of synthetic pyrophyllite Geologica Carpathica Clays, 4, 2, 67-72

Zaw, W.K., Enami, M.; Aoya, M. (2005) Chloritoid and barroisite-bearing pelitic schists from the eclogite unit in the Besshi district, Sanbagawa metamorphic belt. Lithos, 81 , 79– 100

Zhao, G.C., Cawood, P.A., Wilde, S.A. (2000) Metamorphism of basement rocks in the central zone of the North China Craton: implications for Paleoproterozoic tectonic evolution, Precambrian Res. 103, 55–88.

Zheng, Z.D.Lu, Feng, M., Feng B., Jin T. (1982) Kaolin deposits of China. Int'l Clay Conf. 1981, H. Van Olphen and F. Veniale, ed., Dev. In Sedimentology 35, Elsevier, Amsterdam, 719-731.

Suggested Internet Websites

http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Montmorillonite-en.svg
http://ocw.mit.edu/ans7870/12/12.108/f04/imagegallery/lab3/lab3-11.html
http://rruff.geo.arizona.edu/doclib/hom/clinozoisite.pdf
http://rruff.geo.arizona.edu/doclib/hom/pyrophyllite.pdf
http://rruff.geo.arizona.edu/doclib/hom/vesuvianite.pdf
http://rruff.geo.arizona.edu/doclib/hom/zoisite.pdf
http://ruby.colorado.edu/~smyth/min/minerals.html
http://webmineral.com/data/Allanite-(La).shtml
http://webmineral.com/data/Allanite-(Y).shtml
http://webmineral.com/data/Allanite.shtml
http://webmineral.com/data/Clinozoisite.shtml
http://webmineral.com/data/Epidote.shtml
http://webmineral.com/data/Piemontite.shtml
http://webmineral.com/data/Zoisite.shtml
http://webmineral.com/specimens/picshow.php
http://webmineral.com/specimens/picshow.php?id=247
http://webmineral.com/specimens/picshow.php?id=2764
http://webmineral.com/specimens/picshow.php?id=2847
http://www.candldevelopment.com/application.htm
http://www.cst.cmich.edu/users/dietr1rv/vesuvianite.htm
http://www.delminsociety.net/motm/motm_dec2005.htm
http://www.esc.cam.ac.uk/~rjh40/teaching.html
http://www.eytonsearth.org/clay-chemistry.php
http://www.galleries.com
http://www.irocks.com/tucson05a.html

http://www.jegem.com/1/singleProduct.aspx?SKU=AJR206890&r=redirected_from_AS

http://www.johnbetts-fineminerals.com

http://www.marinmineral.com/africa1.html

http://www.maurice.strahlen.org/minerals/aegirine.html

http://www.minedirect.com/FacetCabRough/Diopside.html

http://www.mineralnews.com

http://www.minsocam.org/msa/handbook

http://www.sgs.org.sa/index.cfm Geological Survey of Saudi Arabia.

http://www.soils.wisc.edu/courses/SS325/vermiculite.gif

http://www.soton.ac.uk/~imw/jpg/2WLondon-glauc.jpg

http://www.und.nodak.edu/.../opticalmin/cleavage.htm

http://www.und.nodak.edu/.../opticalmin/cpx.htm

http://www.wildaboutrocks.com/category33_1.htm

دليل المعادن

قائمة إختصارات المعادن (عن كريتز ١٩٨٣ Kretz)

Ab	albite	ألبيت	Cen	Clinoenstatite	كلينوانستاتيت (انستاتيت مائل)
Acm	acmite	أكميت	Cfs	clinoferrosilite	كلينوفروسيليت (فروسيليت مائل)
Act	actinolite	أكتينوليت	Chl	chlorite	كلوريت
Adr	andradite	أندراديت	Chn	chondrodite	كوندروديت
Agt	aegirine-augite	إيجيرين أوجيت	Chr	chromite	كروميت
Ak	akermanite	أكرمانيت	Chu	clinohumite	كلينوهيوميت
Alm	almandine	ألماندين	Cld	chloritoid	كلوريتويد
Aln	allanite	ألانيت	Cls	celestite	سيلستيت
Als	aluminosilicate	ألومينوسليكات	Cp	carpholite	كارفوليت
Am	amphibole	أمفيبول	Cpx	clinopyroxene	بيروكسين مائل
An	anorthite	أنورثيت	Crd	cordierite	كورديريت
And	andalusite	أندلوسيت	Crn	carnegieite	كارنيجيت
Anh	anhydrite	أنهيدريت	Crn	corundum	كوراندم
Ank	ankerite	أنكريت	Crs	cristroballite	كريستوباليت
Anl	analcite	أنالسيت	Cs	coesite	كوزيت
Ann	annite	أنيت	Cst	cassiterite	كاسيتريت
Ant	anatase	أناتاس	Ctl	chrysotile	كريزوتيل
Ap	apatite	أباتيت	Cum	cummingtonite	كومنجتونيت
Apo	apophyllite	أبوفيليت	Cv	covellite	كوفيليت
Apy	arsenopyrite	أرسينوبيريت	Czo	clinozoisite	كلينوزوسيت
Arf	arfvedsonite	أرفيدسونيت	Dg	diginite	ديجنيت
Arg	aragonite	أراجونيت	Di	diopside	ديوبسيد
A	antigorite	أنتيجوريت	Dia	diamond	ألماس
Ath	anthophyllite	أنثوفيليت	Dol	dolomite	دولوميت
Aug	augite	أوجيت	Drv	dravite	درافيت
Ax	axinite	أكزينيت	Dsp	diaspore	دياسبور
Bhm	boehmite	بوهميت	Eck	eckermannite	إكرمانيت
Bn	bornite	بورنيت	Ed	edenite	إدينيت
Brc	brucite	بروسيت	Elb	elbaite	إلبايت
Brk	brookite	بروكيت	En	Enstatite (ortho)	إنستاتيت (المعيني)
Brl	beryl	بيريل	Ep	epidote	إبيدوت
Brt	barite	باريت	Fa	fayalite	فياليت
Bst	bustamite	بوستاميت	Fac	ferroactinolite	أكتينوليت حديدي
Bt	biotite	بيوتيت	Fcp	ferrocarpholite	كارفوليت حديدي
Cal	calcite	كالسيت	Fed	ferroedenite	إدينيت حديدي
Cam	Ca-clinoamphibole	أمفيبول مائل حامل للكالسيوم	Flt	fluorite	فلوريت
Cbz	chabazite	شابازيت	Fo	forsterite	فورستيريت
Cc	chalcocite	كالكوسيت	Fpa	ferropargasite	بارجازيت حديدي
Ccl	chrysocolla	كريزوكولا	Fs	ferrosilite (ortho)	فروزيليت(المعيني)
Ccn	cancrinite	كانكرينيت	Fst	fassite	فازيت

Fts	Ferro-tschermakite	شيرماكيت حديدي
Gbs	gibbsite	جيبسيت
Ged	gedrite	جيدريت
Gh	gehlenite	جيلينيت
Gln	glaucophane	جلوكوفان
Glt	glauconite	جلوكونيت
Gn	galena	جالينا
Gp	gypsum	جبس
Gr	graphite	جرافيت
Grs	grossular	جروسيلار
Grt	garnet	جارنت
Gru	grunerite	جرونريت
Gt	goethite	جوتيت
Hbl	hornblende	هورنبلند
Hc	hercynite	هيرسنيت
Hd	hedenbergite	هيدينبيرجيت
Hem	hematite	هيماتيت
Hl	halite	هاليت
Hs	hastingsite	هاستنجزيت
Hu	humite	هيوميت
Hul	heulandite	هولانديت
Hyn	haüyne	هاوين
Ill	illite	إليت
Ilm	ilmenite	إلمينيت
Jd	jadeite	جاديت
Jh	johannsenite	جوهانسينيت
Kfs	K-feldspar	فلسبار بوتاسي
Kln	kaolinite	كاولينيت
Kls	kalsilite	كالسيليت
Krn	kornerupine	كورنيروبين
Krs	kaersutite	كارسوتيت
Ktp	kataphorite	كتافوريت
Ky	kyanite	كيانيت
Lct	leucite	لوسيت
Lm	limonite	ليمونيت
Lmt	laumontite	لاومونتيت
Lo	loellingite	لولانجيت
Lpd	lepidolite	ليبدوليت
Lws	lawsonite	لاوسونيت
Lz	lizardite	ليزارديت
Mag	magnetite	ماجنيتيت
Mcp	Magnesio-carpholite	كارفوليت غني بالماغنسيوم
Mel	melilite	مليليت
Mgh	maghemite	ماجهيميت
Mgs	magnesite	ماجنيزيت
Mkt	Magnesio-katophorite	كاتوفوريت غني بالماغنسيوم
Mnt	montmorillonite	مونتموريللونيت
Mnz	monazite	مونازيت
Mo	molybdenite	موليبدونيت
Mrb	Magnesio-riebeckite	ريبيكيت غني بالماغنسيوم
Mrg	margarite	مارجاريت
Ms	muscovite	مسكوفيت
Mtc	monticellite	مونتيسليت
Mul	mullite	موليت
Ne	nepheline	نيفيلين
Nrb	norbergite	نوربيرجيت
Nsn	nosean	نوسيان
Ntr	natrolite	ناتروليت
Oam	orthoamphibole	امفيبول معيني
Ol	olivine	اوليفين
Omp	omphacite	أومفاسيت
Opx	orthopyroxene	بيروكسين معيني
Or	orthoclase	أرثوكليز
Osm	osumilite	أوسميليت
Pct	pectolite	بيكتوليت
Pen	protoenstatite	بروتوإنستاتيت
Per	periclase	بيريكليز
Pg	paragonite	باراجونيت
Pgt	pigeonite	بجيونيت
Phe	phengite	فنجيت
Phl	phlogopite	فلوجوبيت
Pl	plagioclase	بلاجيوكليز
Pmp	pumpellyite	بمبليت
Pn	pentlandite	بنتالانديت
Po	pyrrhotite	بيروتيت
Prg	pargasite	بارجاسيت
Prh	prehnite	بريهنيت
Prl	pyrophyllite	بيروفيلليت

Prp	pyrope	بيروب	Stb	stilbite	ستيلبيت
Prv	perovskite	بيروفسكيت	Stp	stilpnomelane	ستيلبنوميلان
Py	pyrite	بيريت	Str	strontianite	سترونشيانيت
Qtz	quartz	كوارتز	Sud	sudoite	سودويت
Rbk	riebeckite	ربيكيت	Tlc	talc	تلك
Rdn	rhodonite	رودونيت	Tmp	thompsonite	ثومبسونيت
Rds	rhodochrosite	رودوكروزيت	Toz	topaz	توباز
Rt	rutile	روتيل	Tr	tremolite	تريموليت
Sa	sanidine	سانيدين	Trd	tridymite	تريديميت
Scp	scapolite	سكابوليت	Tro	troilite	ترواليت
Sd	siderite	سيدريت	Ts	tschermakite	تشيرماكيت
Sdl	sodalite	صوداليت	Ttn	titanite	تيتانيت
Ser	sericite	سيريسيت	Tur	tourmaline	تورمالين
Sil	sillimanite	سيليمنيت	Usp	ulvöspinel	اولفوسبينيل
Sp	sphalerite	سفاليريت	Ves	vesuvianite	فيزيوفيانيت
Spd	spodumene	سبوديومين	Vrm	vermiculite	فيرميكيوليت
Spl	spinel	سبينيل	Wa	wairakite	ويراكيت
Spr	sapphirine	سافيرين	Wo	wollastonite	ولاستونيت
Sps	spessartine	سبيسارتين	Wth	witherite	وذيريت
Srl	schorl	سكورل	Wus	wüstite	فوستيت
Srp	serpentine	سربنتين	Zo	zoisite	زيوسيت
St	staurolite	ستوروليت	Zrn	zircon	زركون

Almighty to make this book a good reference supporting the exploration for economic minerals in the Arab world.

The first chapter contains the definition of Mineralogy and chemical classification of minerals in an easy way to follow the other chapters. The remaining six chapters deal with different types of silicate mineral groups: Nesosilicates, Sorosilicates, Cyclosilicates, Inosilicates, Phyllosilicates and Framework Silicates. Each chapter deals with a mineral group with respect to name of the mineral, chemical formula, crystal structure, mineral chemistry, physical and optical properties, occurrences, mineral associations and uses.

Hamdy H. Abd El-Naby
Isam Y. Al Filali
Yehia H. Dawood

March, 2008

PREFACE

The idea to publish this book has been started several years ago. The main motive for this publication is the deficiency of such kind of books in the Arabic library. The vast majority of the Arabic books in this area focus only on providing knowledge of the basics of mineralogy without delve into details of the various mineral groups such as silicates, carbonates, sulfates,....etc. The silicate minerals group is of a particular importance, where it forms about 90% of the mineral components of the earth's crust. Also, these minerals have a prominent role as raw materials in many industries. In addition, the recent studies, literatures and modern information technology are other important motives that enrich our information and make it quite deserved to be in a book in Arabic language. We expect this would meet with the vast need of Arabic students and personnel in the fields of earth sciences and mineral prospecting.

We have taken into account during editing this book, to be understandable, put ideas in sequence and used many colored images and three-dimensional illustrations to help student and researcher to understand the silicate mineral groups. This would make this book a useful reference for those interestec ı this field in the Arab countries. We maintained the English terms beside the Arabic ones, so that the student could refer to the English books at any time. We call on God

Modern Commercial Press

22, Idress Ragheb St., - El Daher -Ramsis

Tel.: 2590 33 64 - 2590 23 67 , Fax : 2590 23 68-cairo

Email : esamragab28@gmail.com

Mineralogy

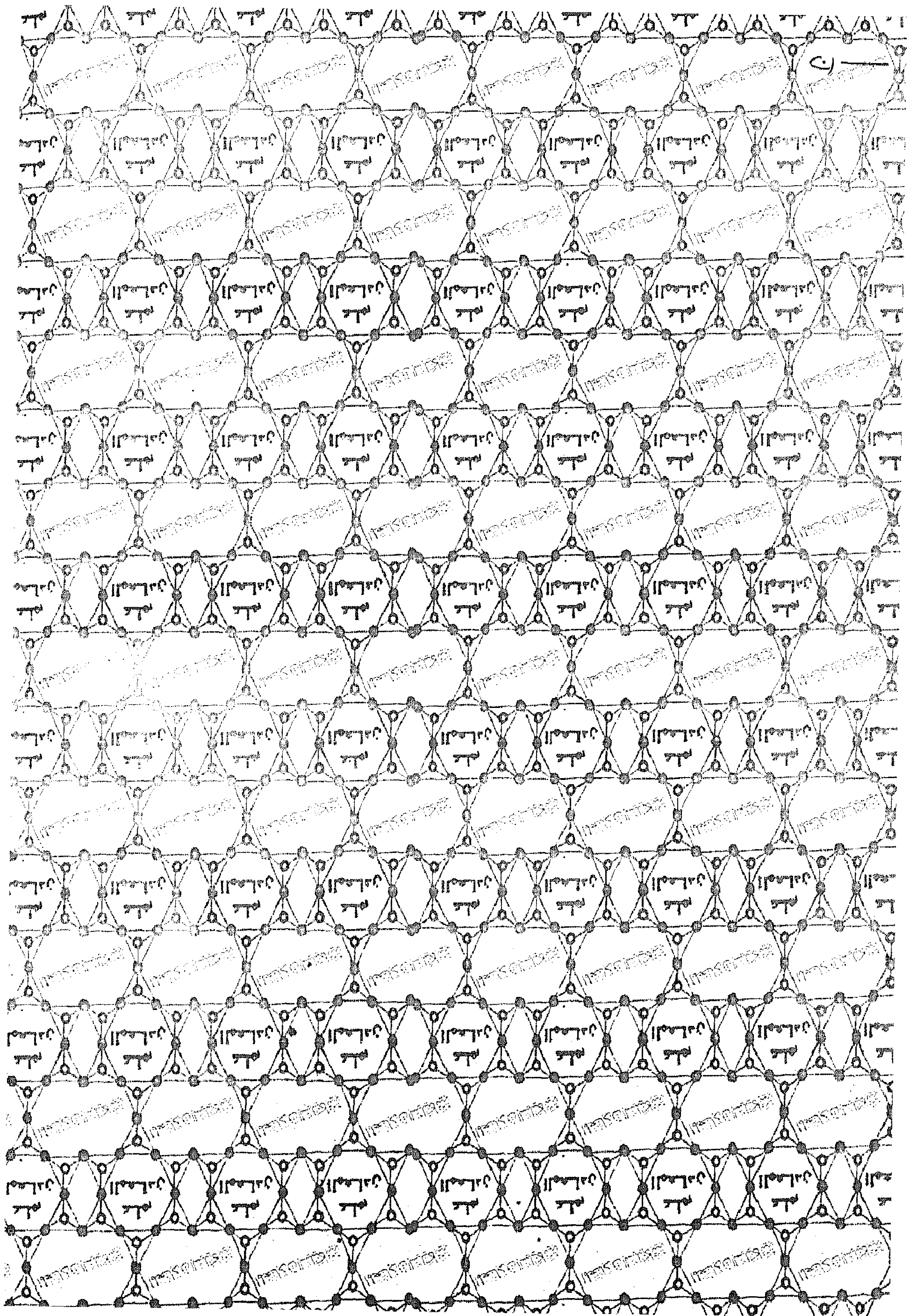
Volume II


Silicate Minerals

Hamdy H. Abd El-Naby
Faculty of Earth Sciences
King Abdulaziz University

Isam Y. Al Filali
Faculty of Earth Sciences
King Abdulaziz University

Yehia H. Dawood
Faculty of Earth Sciences
King Abdulaziz University

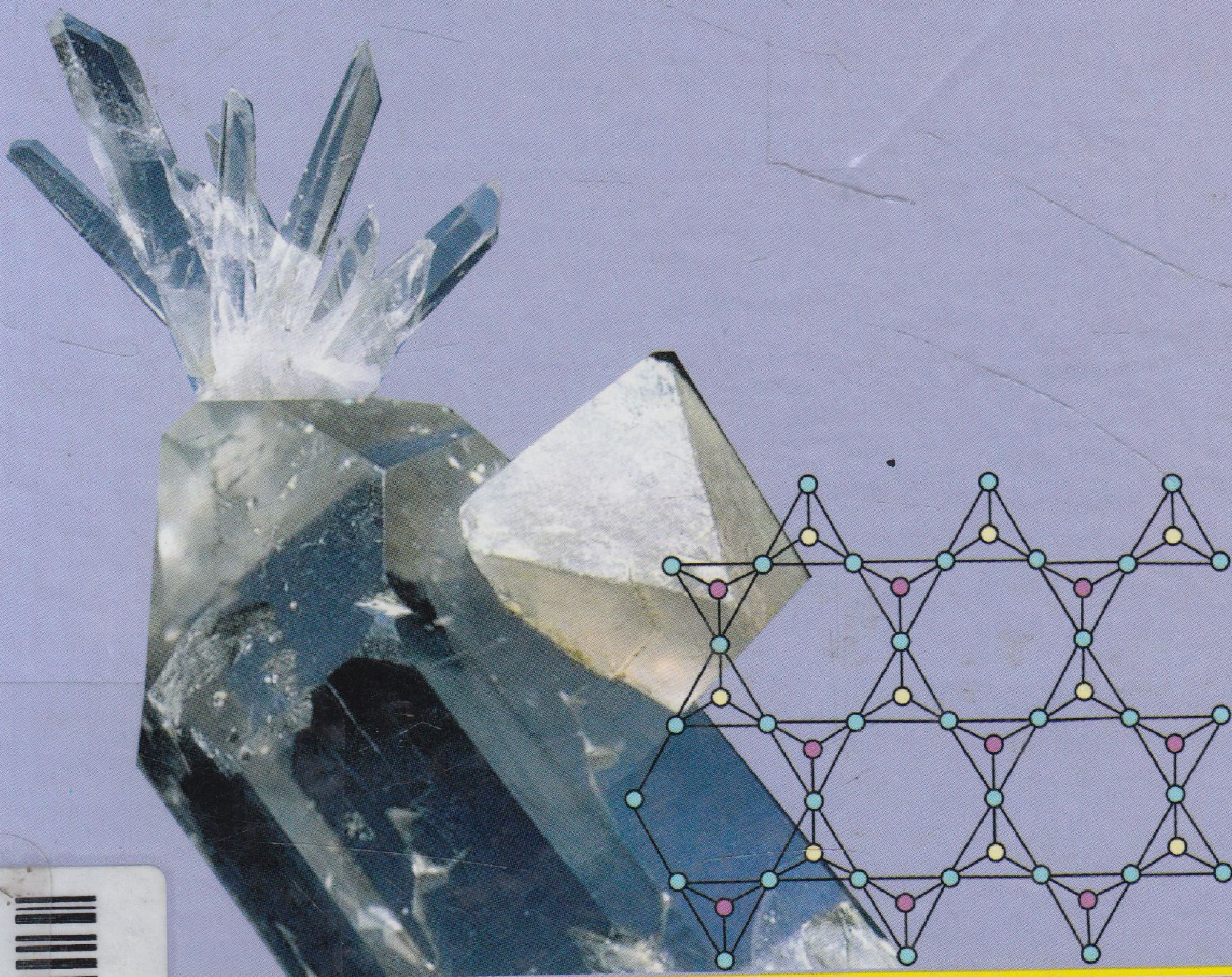


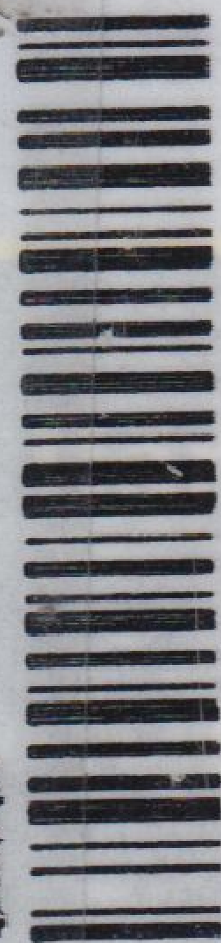


Mineralogy

Volume II

Silicate Minerals







dy H. Abd El-Naby
culty of Earth Sciences
Abdulaziz University

Isam Y. Al Filali
Faculty of Earth Sciences
King Abdulaziz University

Yehia H. Dawood
Faculty of Earth Sciences
King Abdulaziz University

ISBN 977-05-2565-0

